

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

"До захисту допущено"

В.о. завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юлія ЯМНЕНКО  
(підпис) (ініціали, прізвище)

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020р.

**Дипломний проект**

**на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

з спеціальністю 171 Електроніка  
(код та назва напряму підготовки або спеціальності)

спеціалізація Електронні прилади та пристрої

на тему: Система автоматичного контролю параметрів технічної рідини

Виконав (-ла): студент (-ка) III курсу, групи ДЕ-зп71

Опанасенко Олександр Анатолійович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник Тугай Сергій Борисович \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Технічний розділ \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант  
по нормоконтролю Чадюк Вячеслав Олексійович \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

№ з/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1					Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ			Пояснювальна записка	68	
3	A1	ДЕ-зп71 420.301.003 Е1			Схема електрична принципова	1	
4	A1	ДЕ-зп71 420.301.003 Е2			Схема електрична принципова	1	
5	A1	ДЕ-зп71 420.301.003 Е3			Схема електрична принципова	1	

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра Електронних пристроїв та систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Спеціалізація Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувач кафедри

Юлія ЯМНЕНКО  
(підпис) (прізвище ініціали)

«    »                      2020 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Опанасенко Олександр Анатолійович

1. Тема проекту: Систем автоматичного контролю параметрів технічної рідини

Керівник проекту Тугай Сергій Борисович, к.т.н.,

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 року № 1197-с

2. Термін подання студентом проекту 12.06.2020

3. Вихідні дані до проекту. Розробити систему автоматичного контролю температури та рівня хімічно не активної технологічної рідини з можливістю підключення датчиків та виконуючих пристроїв з різними технічними параметрами.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)

Огляд існуючих способів автоматичного керування параметрами технологічної рідини, типи датчиків температури та рівня, виконуючих пристроїв, побудова структурної схеми автоматичного керування, побудова електричної схеми системи автоматичного керування.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) : електрична схема системи автоматичного керування, електричні схеми вхідного та вихідного контурів

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний			

## 7. Дата видачі завдання 13.03.2020

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строки виконання етапів проекту	Примітка
	Огляд науково-технічної літератури по системам керування та методам контролю параметрів технічних рідин	15.04.2020	
	Розробка електричної схеми системи автоматичного керування	10.05.2020	
	Розробка електричних схем вхідного та вихідного контурів	15.05.2020	
	Підготовка проекту диплому	29.05.2020	
	Оформлювання пояснювальної записки, креслення, плакатів з формулами та графіками, підготовка доповіді	05.06.2020	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

## **АНОТАЦІЯ**

В дипломному проєкті представлено огляд науково-технічної літератури по способам реєстрації параметрів рідини, таких як тиск, температура, потік і способи контролю їх стану. ... Показано перспективи використання таких пристроїв для промислового автоматизованого контролю у хімічній галузі. Приведено результати розрахунку параметрів та характеристик системи контролю параметрів технічної рідини. Результати практичної експлуатації відрізняються від теоретичних розрахунків на 3-5% , що пояснюється інерційністю системи та затримкою на переналаштування електромеханічних елементів. Розроблена конструкція, структурна, функціональна та електрична принципова схеми пристрою контролю стану речовини, який забезпечує виконання наступних функцій (дати конкретний перелік функцій та/або параметрів):

- контроль температури потоку;
- рівень наповненості об'єму;
- захист від перегріву;

## **A N N O T A T I O N**

The diploma project presents a review of scientific and technical literature on the methods of registration of fluid parameters, such as pressure, temperature, flow and methods of monitoring their condition. ... Prospects for the use of such devices for industrial automated control in the chemical industry are shown. The results of the results of calculation of parameters and characteristics of the control system of technical fluid parameters are given. The results of practical operation differ from the theoretical calculations by 3-5%, due to the inertia of the system and the delay in readjusting the electromechanical elements. Developed design, structural, functional and electrical schematics of the device for monitoring the state of matter, which provides the following functions (give a specific list of functions and / or parameters):

- flow temperature control;
- volume level;
- protection against overheating



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	4
Вступ.....	5
1. ДЕТЕКТУЮЧІ СИСТЕМИ ТА СПОСОБИ ЗВОРОТНЬОГО ЗВ’ЯЗКУ .....	8
1.1 Методи та засоби вимірювання основних технологічних параметрів у об’ємі .....	8
1.1.1 Методи і засоби вимірювання температури .....	9
1.1.1.1 Термометри розширення. Рідинні скляні термометри.....	10
1.1.1.2 Термометри, засновані на розширенні твердих тіл.....	10
1.1.1.3. Газові манометричні термометри. ....	12
1.1.1.4. Рідинні манометричні термометри. ....	12
1.1.1.5.Конденсаційні манометричні термометри. ....	12
1.1.1.6. Електричні термометри (термопари).....	13
1.1.1.7. Термометри опору.....	15
1.1.1.8.Резистивні детектори температури (РДТ, терморезистори).....	16
1.1.1.9. Термістори .....	17
1.1.2. Методи і засоби вимірювання тиску і розрядження .....	17
1.1.2.1 Класифікація приладів для вимірювання тиску: .....	18
1.1.3 Методи і засоби вимірювання витрати .....	21
1.2 Типові закони регулювання, які застосовують в лінійних САУ.....	22
1.2.1 Пропорційний закон регулювання (П-Закон).....	22
1.2.2 Інтегральний закон регулювання (І-Закон).....	22
1.2.3 Пропорційно-інтегральний закон регулювання (ПІ-закон). ....	23
1.2.4 Пропорційно-диференціальний закон регулювання (ПД-закон).....	23
1.2.5 Пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання (ПІД-закон). ....	24
1.3 Висновок .....	27
2. Опис системи автомативного контролю параметрів рідини .....	28
2.1 Структура.....	28
2.2 Переваги над аналогами .....	28

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк А</i>	<i>№ докум</i>	<i>№</i>	<i>Підпис</i>				
<i>Розроб</i>	Опанасенко О.А				<i>Система автоматичного контролю параметрів технічної рідини</i>		<i>Літ</i>	<i>Літ</i>
<i>Перевір</i>	Тугай С.Б						<i>Арк</i>	<i>Арк</i>
<i>Реценз.</i>							7	68
<i>Н. Контр.</i>	Чалюк В.О						<i>«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПС, гр. ДЕ-зп71</i>	
<i>Затверд.</i>	Ямненко Ю.С							



2.3 Принцип дії.....	34
2.4 Висновок .....	37
3. Розрахунок елементної бази.....	38
3.1. Складові частини схеми електронного блоку системи автоматичної контролю параметрів рідини .....	38
3.2. Вибір та обґрунтування окремих елементів системи автоматичного оновлення .....	39
3.2.1. ПЛК.....	39
Основні технічні характеристики, характеристики вхідних сигналів і характеристики вбудованих вихідних елементів контролера ПЛК100 наведені в таблиці 3.1 .....	41
3.2.2. Вхідний контур.....	41
3.2.3. Вихідний контур.....	43
3.2.4. Датчик температури.....	45
3.2.5 Датчик рівня рідини .....	46
3.3. Технічний опис та розрахунки, необхідні для побудови електронного блоку АСР.....	46
3.4. Розробка схеми електричної підсилювача вихідних контурів.....	52
3.5. Розробка схеми електричної підсилювача вхідних контурів.....	54
3.6. Розробка схеми електричної АСК .....	55
3.7. Висновок .....	57
4 РОЗДІЛ 3 ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	58
4.1 Вступ .....	58
4.2 Опис приміщення .....	58
4.3. Аналіз і оцінка шкідливих виробничих факторів .....	60
4.3.1 Аналіз мікроклімату.....	60
4.3.2 Аналіз шуму.....	60
4.3.3 Аналіз електромагнітного та інфрачервоне випромінювання .....	61
4.3.4 Аналіз іонізуючих випромінювань.....	61
4.4. Аналіз освітлення .....	61
4.5. Аналіз електробезпеки.....	62
4.6 Аналіз пожежної безпеки .....	63
4.7. Інструкція по техніці безпеки .....	63
4.8 Висновки .....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

Додаток А Розробка програми для ПЛК.....	69
Додаток Б .....	73

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ доквм	Пілпис	Дата		3

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ОУ – Об’єкт управління

ЗВ – засоби вимірювання

ВП – вимірювальний перетворювач

КВП – Контрольно-вимірювальні прилади

АСУ – автоматизована система управління

КМП – конденсаційні манометричні термометри

РДТ – резистивні детектори температури

ТКО - температурний коефіцієнт опору

ВРТ – вимірювальні перетворювачі тиску

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач

ПЛК – програмований логічний контролер

АСК – автоматична система керування

ТЕН – трубчаті електронагрівники

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ док.ум.	Підпис	Дата		4

## Вступ

Промислові процеси і керуючі ними пристрої складаються з чисельних і різноманітних приладів, що взаємодіють один з одним. Ці елементи пов'язані між собою для забезпечення обміну матерією, енергією і інформацією з наступним отримання кінцевого результату

Керування – це формування дій, що керують, та забезпечують потрібний режим роботи ОУ [3].

Під керуванням розуміються дії, направлені на підтримку або поліпшення роботи об'єкту керування.

В об'єкт керування надходять збуджуючі дії, що викликає зміни вихідних параметрів об'єкту, які описують мету управління. Інформація про поточні показники вихідних параметрів передається в систему керування, де вони порівнюються з опорними значеннями. В результаті порівняння формуються керуючі дії, що поступають в об'єкт управління (рис.1.1) [1, 5].



Рис. 1.1. Схема керування об'єктом

Об'єкт управління (об'єкт регулювання, ОУ) – це пристрій з необхідним режимом роботи, що задається ззовні.

Фізичні об'єкти управління певною мірою піддаються зовнішнім діям, які змінюють нормальний хід процесу в об'єкті. Внутрішні фактори (корозія, забруднення) також впливають на роботу об'єкта управління.

Зовнішні чинники проникають в об'єкт керування ззовні (корекція вхідних параметрів, параметрів оточуючого середовища).

*Керуюча система* – це персонал керування з автоматичними пристроями, що зв'язані завданням управління. Автоматичні пристрої у складі системи керування, за функціональними ознаками підрозділяються на контрольні, регулюючі, програмного управління, сигналізації, блокування і захисту. Також відноситься і обчислювальна техніка [2].

Пристрої контролю використовуються для збору інформації про стан об'єкту і умови функціонування. Це можуть бути окремі (дискретні) прилади, призначених для візуального контролю, або складовою частиною комплексної системи (регулювання, сигналізації і захисту).

До контролюючих входять термометри, манометри, витратоміри, рівнеміри, газоаналізатори і інші прилади. Контрольно-вимірювальні прилади (КВП) встановлюють в складі робочих приладів (локальний контроль) або на центральних щитах управління (дистанційний контроль). Останній застосовується частіше. Локальний контроль в сучасні технологічних системах використовують тільки для запуску і відлагодження устаткування[12].

Регулювання – вид керування, коли необхідно забезпечити постійність якої-небудь вихідної величини об'єкту. Пристрої регулювання призначені для утримання постійного значення параметрів роботи (стабілізуючі регулятори), а також для зміни їх за наперед заданим або невідомим законом (програмні, слідкуючі, екстремальні регулятори). До цих пристроїв інформація надходить від ОУ про стан параметрів і впливають на об'єкт за допомогою регулюючих органів.

Пристрої програмного управління служать для керування процесом шляхом комутації різних механізмів, машин, апаратів за наперед заданою програмою, що має часову залежність.

Пристрої оповіщення призначені для сповіщення робочого персоналу про настання подій в керованому технологічному об'єкті шляхом подачі звукових або світлових сигналів [9, 10].

Пристрої блокування служать для недопущення помилкового запуску, виключення устаткування і механізмів. Пристрої автоматичної зупинки призначені для запобігання аваріям. Керуюча система і об'єкт управління утворюють систему управління (взаємодіючи один з одним).

Система управління може бути локальною і централізованою. У першому випадку її монтують біля апаратів, в іншому – на відстані (диспетчерські пункти, операторські).

Автоматичне управління – це керування, що відбувається за наперед заданою програмою без участі людини.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ док.м.	Підпис	Дата		7

# 1. ДЕТЕКТУЮЧІ СИСТЕМИ ТА СПОСОБИ ЗВОРОТНЬОГО ЗВ'ЯЗКУ

## 1.1 Методи та засоби вимірювання основних технологічних параметрів у об'ємі

Отримання інформації про стан технологічного процесу в автоматизованих системах керування здійснюється за допомогою первинних детекторів (датчиків). Як відомо, датчики – це контрольно- вимірювальні прилади в системі керування, які збирають за допомогою чутливого елементу дані про стан технологічного об'єкту, конвертують їх у зручну форму та виділяють за допомогою підсилювача-перетворювача з подальшою передачею наступним елементам регулятора.

Номенклатура датчиків постійно змінюється в сторону поліпшення технологічних, метрологічних та функціональних показників приладів. Щорічно така тенденція на ринку засобів автоматизації збільшує темп [3, 4]. Це пояснюється появою більш досконалих зразків, що здатні задовольнити зростаючі вимоги, а також створенням сучасних систем керування технологічними процесами з використанням найновіших світових досягнень.

Розробники обладнання звертають на стандарти, інтелектуальність та ступінь інтеграції, що дає можливість спрощувати системи, автоматизувати керування та застосовувати інтелектуальне керування у інтелектуальних цифрових АСУ.

Способи формування інформації про стан об'єкта безпосередньо взаємодіючи з останнім і формують вихідний сигнал. Первинні конвертери вимірювальних даних встановлюють на об'єктах, вони поділяються на 5 базових груп:

1. Теплові, енергетичні та електричні. До них відносяться тиск, сила струму, витратність, швидкість потоку, температура та ін.
2. Звітоутворюючі. Таке як якість виробу чи фізична характеристика.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ док.м.	Підпис	Дата		8

3. Властивість та сполуки у речовині.
4. Вимірювання фізичних дій (тиск, маса, доза...).
5. Кінематика.

### **1.1.1 Методи і засоби вимірювання температури**

Абсолютна температура – фізична міра, що характеризує середню кінетичну енергію хаотичного руху молекул речовини. Зазвичай, температура вимірюється шляхом співставлення ступеня нагрітості кількох тіл завдяки використанню термометра. Вимір проводиться шляхом фіксації зміни фізичних властивостей робочої речовини у термометрі[1].

За властивостями термодинамічного тіла термометра, можна виділити наступні типи[11]:

1. Розширення робочої речовини твердого тіла.
2. Розширення робочої речовини рідкого тіла.
3. Манометричні газові.
4. Манометричні Рідинні.
5. Конденсційні.
6. Рідинні.
7. Електричні.
8. Опору речовини.
9. Монохроматичні пірометри.
10. Колірні пірометри.
11. Радіаційні пірометри.

Методи і засоби вимірювання (ЗВ) температури поділяються на контактні та безконтактні, аналогові та цифрові[7, 8].

Контактні ЗВ температури засновані на фізичному контакті вимірювального перетворювача (ВП) з контрольованим середовищем. Контактні термометри підрозділяються на термометри розширення, електричні і спеціальні. У свою чергу, термометри розширення поділяються на рідинні,



біметалічні, дилатометричні і манометричні. До електричних термометрів слід віднести термометри опору (терморезистори) і термоелектричні. До спеціальних відносять різні індикатори температури [4].

### 1.1.1.1 Термометри розширення. Рідинні скляні термометри

Коефіцієнт об'ємного розширення визначається тепловим розширенням рідини, значення якого визначається як

$$\beta_{r1,r2} = \frac{V_{t1} - V_{t2}}{V_0(t_2 - t_1)}, 1/град$$

де:  $V_0$ ,  $V_{t1}$ ,  $V_{t2}$  – об'єми рідини, якою заповнений резервуар термометру при  $0^{\circ}\text{C}$ , температурах  $t_1$  і  $t_2$  відповідно.

Чутливість термометра залежить від різниці коефіцієнтів об'ємного розширення термометричної рідини і скла, від об'єму резервуару і діаметру капіляра. Вона зазвичай лежить в межах  $0,4 \dots 5 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}$  (для деяких спеціальних термометрів  $100 \dots 200 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}$ ).

Для уникнення пошкоджень технічних термометрів, вони вбудовуються в металеві оправы, а нижня поглинена частина закривається металевою гільзою. Використовують їх для місцевого контролю температури при запуску обладнання чи відлагодженні.

### 1.1.1.2 Термометри, засновані на розширенні твердих тіл.

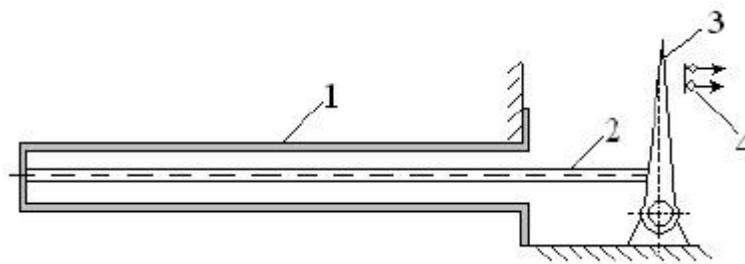
До таких відносяться дилатометричні та біметалічні вимірювальники, принцип дії яких заснований на зміні лінійних розмірів робочого твердого тіла при зміні температури.

Типова конструкція *дилатометричних* термометрів наведена на Рис.1.2. Температура фіксується шляхом співставлення абсолютних значень двох стрижнів з різними коефіцієнтами термічного розширення:

$$\beta_{r1,r2} = \frac{l_{r1} - l_{r2}}{l_0(t_2 - t_1)}, 1/град$$

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		10

де  $l_0, l_{r1}, l_{r2}$  – лінійні розміри тіла при  $0^{\circ}\text{C}$ , температурах  $t_1$  і  $t_2$  відповідно. Окрім простих термометрах, застосовується у пристроях сигналізації температури. []



1 – трубка, 2 – стержень, 3 – стрілка, 4 – контакти

Рис. 1.2. Ділатометричний термометр

Дія біметалічних термометрів (рис. 1.3) заснована на деформації біметалічної стрічки при зміні температури.



Рис. 1.3. Біметалічний термометр

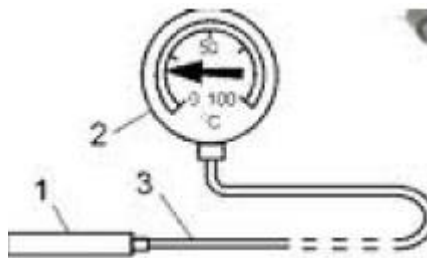
У більшості випадків використовуються біметалічні стрічки, зігнуті у вигляді плоскої або гвинтоподібної спіралі. Один кінець спіралі статично закріплений, другий – приєднаний до стрілки. Кут повороту стрілки дорівнює куту звивання спіралі, який пропорційний зміні температури.

Біметалічні термометри виготовляються з відносною похибкою вимірювання 1 - 1,5 % [22].

### 1.1.1.3. Газові манометричні термометри.

Принцип дії манометричного термометра базується на фіксуванні залежності тиску зафіксованої робочої (термобаричної) речовини та температури.

Зазвичай, конструктивно складаються з капіляра, термічного балона, пружини та стрілки (рис.1.4). Така система заповнюється робочою речовиною. Зміна температури провокує зміну тиску, що фіксується на шкалі стрілкою, яка з'єднується з балоном пружиною. Переваги: лінійна шкала приладу. Недоліки: відносно великі габарити та затримка реакції (інертність).



1 – термобалон, 2 – манометр, 3 – капіляр

Рис. 1.4. Газовий манометричний термометр

### 1.1.1.4. Рідинні манометричні термометри.

Принцип дії та структура аналогічна газовим, та відмінність полягає у іншій робочій речовині – рідині (метиловий спирт, ксилол, толуол та ін.). Рідинні манометричні термометри мають рівномірну шкалу. Переваги з недоліками – аналогічні.

### 1.1.1.5. Конденсаційні манометричні термометри.

Конденсаційні манометричні термометри (КМП) реалізують залежність пружності насиченої пари низькокиплячої рідини від температури. Робочі речовини: хлористий метил, етиловий ефір, хлористий етил, ацетон і інші. Переваги: вища чутливість. Недоліки: нелінійна залежність.

### 1.1.1.6. Електричні термометри (термопари).

Термопари (термоелектричні перетворювачі) призначені для вимірювання температури і працюють у комплекті з мілівольтметрами і потенціометрами (рис. 1.5).

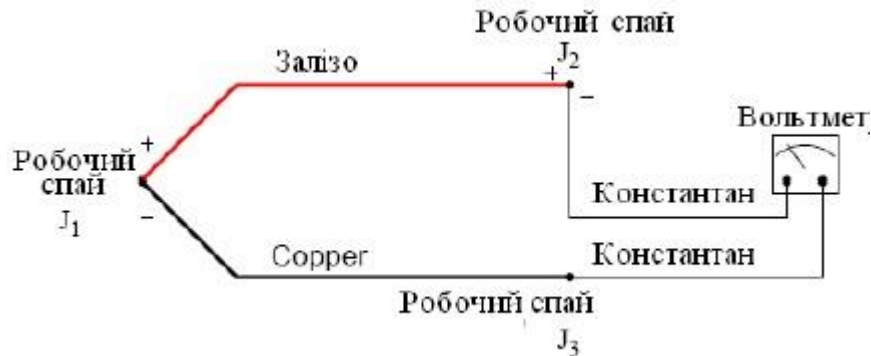


Рис. 1.5. Схема підключення термопари

Термопара, як правило, складається з двох різнорідних термічних елементів, металевих або напівпровідникових [4]. Принцип дії базується на термоелектричному ефекті. Є найбільш поширеним промисловим температурним детектором [6].

Конструкції відрізняються металами, в залежності від сфери застосування та діапазонів вимірів. Зустрічаються диференційні термопари та термобатареї для малих або великих діапазонів, відповідно [13].

Переваги: надійність та мала ціна. Недоліки: необхідність під'єднувати дроти з матеріалу, що подібний термоелектродам термопари

Сполучні дроти для термопар виготовляються з неблагородних металів. Виняток становить хромель-алюмелева термопара, там застосовується мідь в парі з константаном.

Застосовуються наступні *градуювання* термопар:

ХА - хромель-алюмелеві;

ХК - хромель-копелеві;

ПП - платинородий-платинові і так далі.

Основні вимоги до термопар:

- 1) відтворюваність,
- 2) висока чутливість,
- 3) надійність,
- 4) стабільність,
- 5) достатній температурний діапазон.

Матеріали, найбільш часто використовувані для виготовлення термопар наведені у таблиці 1.1, градувальні характеристики термопар – на рис.1.6.

Методи і засоби для вимірювання ТЕРС поділяють на:

- 1) Метод безпосередньої оцінки (за допомогою мілівольтметра);
- 2) Компенсаційний метод (за допомогою потенціометрів).

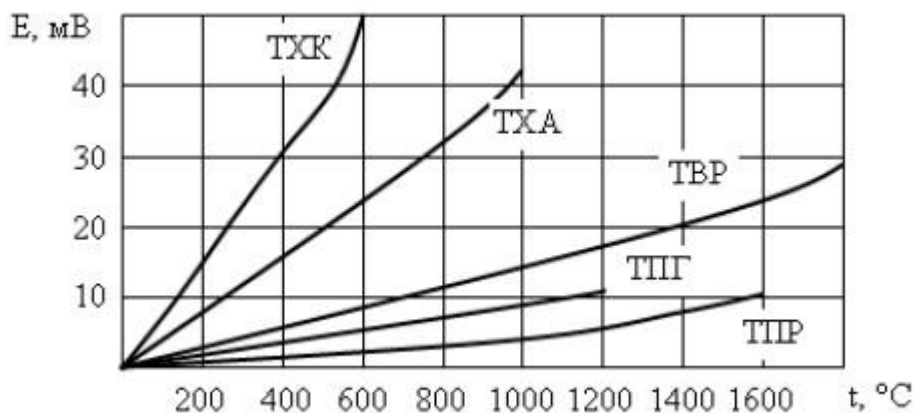


Рис. 1.6. Градувальні характеристики термопар

Таблиця 1.1. Матеріали, використовувані для виготовлення термопар

Назва	Склад	ТЕРС, мВ (при $t_0=0^{\circ}\text{C}$ , $t_1=100^{\circ}\text{C}$ )	Максимальна температурна межа, $^{\circ}\text{C}$
-------	-------	---	---

хромель	10% Cr + 90 % Ni	+2,95	1000
платиновий	90 % Pt + 10 % Rh	+0,86	1300
мідь	Cu	+0,76	350
платина	Pt	0	1300
алюмель	95 % Ni + 5 % Al	-1,2	1000
копель	56 % Cu + 44 % Ni	-4	600
константан	60 % Cu + 40 % Ni	-3,4	600

Кабельні термоперетворювачі є доступними для загальнопромислового застосування в різних галузях промисловості і наукових досліджень. Прикладом таких термоперетворювачів є термоперетворювачі серії «Метран» (рис. 1.7) [18].

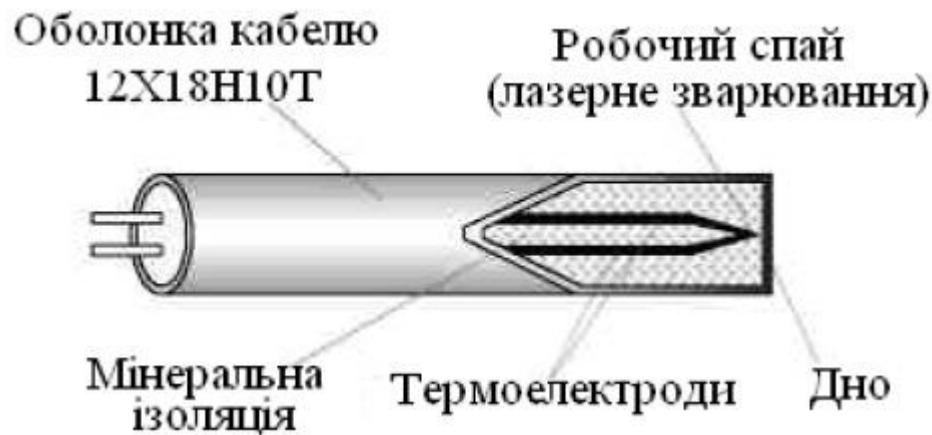


Рис. 1.7. Загальний вигляд кабельної термопары

#### 1.1.1.7. Термометри опору.

Принцип дії базується на лінійній залежності зміни опору від навколишньої температури, відношення цієї залежності визначає коефіцієнт пропорційності.

Вид функції  $R = f(t)$  залежить від властивостей матеріалу. Для виготовлення застосовуються чисті метали з наступними вимогами:

- а) метал не має окислюватися (вступати в хімічні);
- б) ТКО металу має бути значним і незмінним;
- в) функція  $R = f(t)$  має бути однозначною.

Найбільше підходять за властивостями: платина, мідь, нікель і інші.

Для вимірювання температури найчастіше застосовуються термоопори типів ТСП (платинові) і ТСМ (мідні).

Переваги: низька ціна. Недоліки: велика інерційність (до 10 хвилин).

### 1.1.1.8. Резистивні детектори температури (РДТ, терморезистори)

Вони виготовляються як з металів, так і з напівпровідників, хоча частіше – з платинового дроту.

опір зі зміною температури. Опір  $R$  є практично лінійною функцією температури при опорному значенні  $T_0 = 0^\circ\text{C}$  (рис. 1.8).

Відношення опору  $R$  при температурі  $T$  до опору  $R_0$  при опорній температурі  $T_0$  можна виразити як

$$R / R_0 = 1 + aT + bT^2 + \dots$$

де  $a$  – температурний коефіцієнт опору,  $b$  – позитивна або негативна постійна. Для платини  $a=0,004^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $b=0.59 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}^{-2}$  [11].

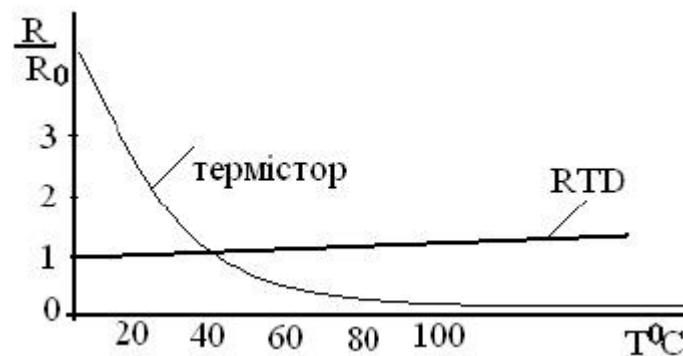


Рис. 1.8. Залежність опору мідного терморезистора (RTD) і термістора від температури

Існують РДТ для набору стандартних опорів. Найбільш часто використовуваний тип має опір 100 Ом при опорній температурі  $0^\circ\text{C}$  або 272 К (Pt-100).

Датчики РДТ мають вельми низьку чутливість, і будь-який струм ( $i$ ), використовуваний для визначення зміни опору, нагріватиме датчик, змінюючи

його показання на величину, пропорційну ( $i^2$ ). Вихідний опір найчастіше вимірюють мостовими схемами.

### 1.1.1.9. Термістори

Напівпровідникові терморезистори називаються термісторами.

Термістор – це температурно-залежний резистор, який виготовлюється з напівпровідникового матеріалу, що має негативний температурний коефіцієнт і високу чутливість. Його опір нелінійно залежить від температури:

$$R = R_0 * e^{\beta(1/T - 1/T_0)}$$

де  $T$  – температура в градусах Кельвіна,  $R_0$  – опір при опорній температурі  $T_0$  (зазвичай 298K або 250C),  $\beta$  – постійна (зазвичай 3000 – 5000 K) [1].

Нахил кривої  $R - T$  (рис. 1.8) відповідає температурному коефіцієнту  $a$ , який у свою чергу, є функцією температури:

$$a = \frac{1}{R/R_0} * \frac{d(R/R_0)}{dT} = \frac{-b}{T^2}$$

Значення коефіцієнта  $a$  зазвичай лежить в діапазоні від мінус 0,03 до мінус 0,06  $K^{-1}$  при 25<sup>0</sup>C.

Такий прилад має кінцевий опір – виділяє тепло, яке необхідно відподити. Енергія, що виділяється в термісторі при 25<sup>0</sup>C, має зазвичай порядок 0,002 мВт. При постійній розсіянні близько 1 мВт/<sup>0</sup>C температура датчика підвищуватиметься на 1<sup>0</sup>C (на повітрі) на кожен міліват розсіюваної потужності.

Термістори застосовуються для вимірювання температур аж до 500 - 600<sup>0</sup>C.

Переваги: дешевизна та простота. Недоліки: низька точність.

### 1.1.2. Методи і засоби вимірювання тиску і розрядження

Під тиском в загальному випадку розуміють межу відношення нормальної складової зусилля до площі, на яку діє зусилля.



Розрізняють абсолютний, атмосферний, надлишковий тиск і стан, що називають вакуумом.

Тиск вимірюється за допомогою манометрів і вимірювальних перетворювачів тиску (ВПТ).

*Манометр* – це прилад для вимірювання тиску або різниці тисків з безпосереднім відліком (відображенням) їхніх значень.

Залежно від природи контролюваного процесу розрізняють *абсолютний* тиск  $P_a$  або *надмірний*  $P_i$ . При вимірюванні  $P_a$  за початок відліку береться нульовий тиск, який можна собі представити як тиск усередині судини після повного відкачування повітря. Природно, досягти  $P_a = 0$  неможливо.

*Барометричний* тиск  $P_{бар}$  – тиск, що надається атмосферою на всі предмети, що знаходяться в ній.

*Надмірним* тиском є різниця між абсолютним і барометричним тиском:  $P_i = P_a - P_{бар}$ .

Якщо  $P_{абс} < P_{бар}$ , то  $P_i$  називається тиском розрядження.

#### 1.1.2.1 Класифікація приладів для вимірювання тиску:

##### ***I. За принципом дії:***

- 1) рідинні (заснований на урівноваженні тиску стовпом рідини);
- 2) поршневі (вимірюваний тиск врівноважується зовнішньою силою);
- 3) пружинні (тиск вимірюється по величині деформації пружного елементу);
- 4) електричні (заснований на перетворенні тиску в яку-небудь електричну величину).

##### ***II. За видом вимірюваної величини:***

- 1) манометри (вимірювання надмірного тиску);
- 2) вакуумметри (вимірювання тиску розрядження);
- 3) мановакууметри (вимірювання як надмірного тиску, так і тиску розрядження);

- 4) напорометри (для вимірювання малого надмірного тиску);
- 5) тягоміри (для вимірювання малого тиску розрідження);
- 6) тягонапорометри;
- 7) дифманометр (для вимірювання різниці тиску);
- 8) барометри (для вимірювання барометричного тиску).

За принципом дії чутливого елемента (ЧЕ) засоби вимірювання тиску поділяються на три групи:

- 1) поршневі, рідинні і засновані на прямих методах вимірювань;
- 2) деформаційні, напівпровідникові і засновані на прямих відносних методах;
- 3) термопарні, іонізаційні вакуумметри та інші прилади, засновані на непрямих методах.

**Рідинні манометри** широко застосовуються як зразкові прилади для лабораторних і технічних вимірювань. У якості робочої рідини використовується спирт, вода, ртуть, масла.

**Мікроманометри** застосовуються для вимірювання тиску, меншого ніж 100 – 200 мм водяного стовпа. Мікроманометри – це рідинний манометр з нахиленою під кутом 20...50° трубкою (рис.1.9).

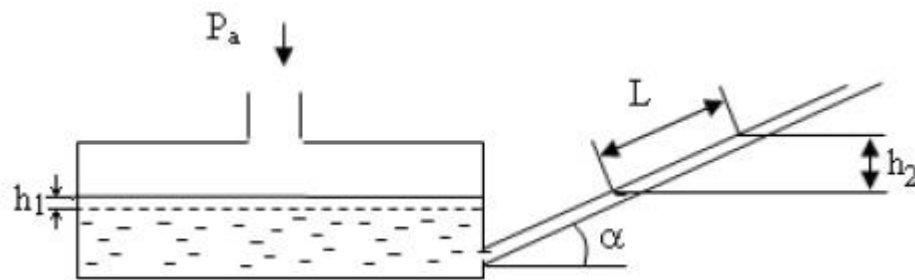


Рис. 1.9. Мікроманометр

$h = L \cdot \sin(\alpha)$  – висота підняття рівню рідини у вузькій трубці.  $P = mgh$  – зміряний тиск. Погрішність мікроманометрів +/- 1,5 %.

**Пружинні манометри** складаються з трубчастої пружини 1 з повідцем, зубчатого сектора 3 і шестерні 4 з прикріпленою до неї стрілкою 2 (рис.1.10) [1,4,7].

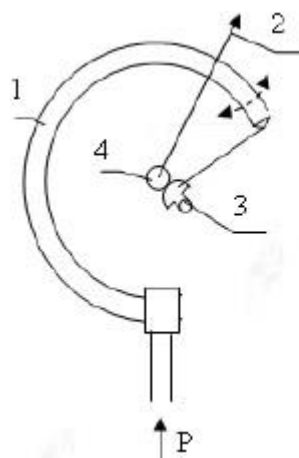


Рис. 1.10. Пружинний манометр

При збільшенні тиску трубчаста пружина прагне розігнутися, внаслідок чого вона через повідець починає діяти на зубчатий сектор, відхиляючи стрілку.

Широке застосування одержали **деформаційні манометри** з одновитковою трубчастою пружиною. Вони встановлюються безпосередньо на технологічному устаткуванні (по місцю) або дистанційно (на щитах). Діапазон вимірювань деформаційних манометрів становить від 10 Па до 2 ГПа, клас точності – від 0,25 до 4,0. При вимірюванні відносно невеликих тисків (менше 1 МПа) використовують мембранні манометри, які містять гофровану мембрану, герметично закріплену між фланцями, клас точності від 0,15 до 2,5.

**Електромагнітні перетворювачі**, що використовуються в системах передачі сигналів, поділяються на індуктивні, трансформаторні та магнітопружні.

*Індуктивні перетворювачі* (рис. 1.11) широко використовуються для вирішення завдань АСУ ТП. Виконуються з нормально розімкненим або нормально замкнутим контактом.

Принцип дії заснований на зміні амплітуди коливань генератора при внесенні до активної зони датчика металевого, магнітного, ферро-магнітного або аморфного матеріалу певних розмірів.

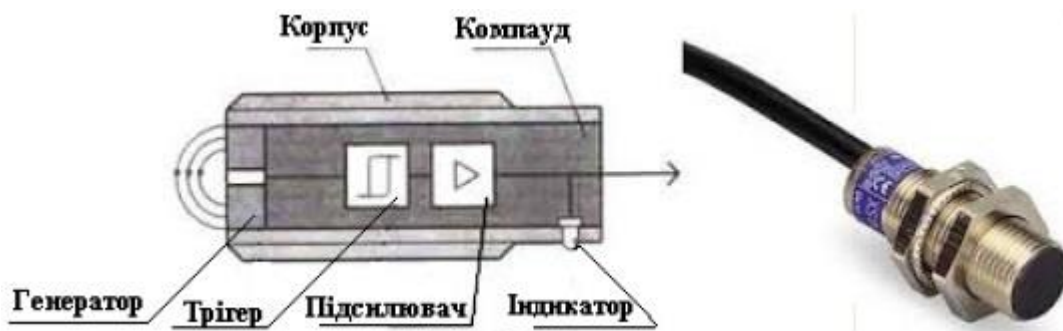


Рис. 1.11. Індуктивний датчик

Основні вузли датчика виконують наступні функції: генератор створює електромагнітне поле взаємодії з об'єктом; тригер перетворює аналоговий сигнал у логічний; підсилювач збільшує амплітуду сигналу до **потрібного** значення, індикатор показує стан вимикача; компаунд забезпечує необхідний ступінь захист, корпус забезпечує монтаж датчика.

Звичайно використовується диференціальна схема включення індуктивних перетворювачів, що розширює лінійну ділянку статичної характеристики і підвищує чутливість приладу.

### 1.1.3 Методи і засоби вимірювання витрати

Вимір витрати має велике значення для промисловості. Вимірювання витрати базується на фізичних властивостях рухомої рідини, пов'язаних або з масою, або з об'ємом. У разі однорідної рідини, що не стискається, ці два показники зв'язані через щільність рідини [1, 3]:

$$m = \rho * V$$

де  $m$  – маса;  $\rho$  – щільність;  $V$  – об'єм.

Проте, багато рідин, застосованих в промисловості, не мають постійної щільності, або її важко визначити (сира нафта).

*Кількість речовини* виражається в одиницях об'єму або маси (тобто в  $\text{м}^3$  або кілограмах). Кількість рідини з рівним ступенем точності може бути зміряне і об'ємним, і масовим методами, кількість газу – тільки об'ємним. Для твердих і сипких матеріалів використовується поняття насипної або об'ємної маси, яка

залежить від гранулометричного складу сипкого матеріалу. Для точніших вимірювань кількість сипкого матеріалу визначається зважуванням.

*Витратою речовини* називається кількість речовини, що проходить через даний перетин трубопроводу в одиницю часу.

Розрізняють об'ємну і масову витрату речовини. Масова витрата вимірюється в кг/с, об'ємна – в м<sup>3</sup>/с.

Прилади, що вимірюють витрату, називаються *витратомірами*. Ці прилади можуть бути забезпечені лічильниками (інтеграторами), тоді вони називаються витратомірами-лічильниками. Такі прилади дозволяють вимірювати витрату і кількість речовини.

## 1.2 Типові закони регулювання, які застосовують в лінійних САУ.

### 1.2.1 Пропорційний закон регулювання (П-Закон).

Рівняння пропорційного закону:  $u(t) = k_n \varepsilon(t)$

Передатна функція пропорційного закону регулювання:  $w_p(p) = k_n = k_p$

Відповідно до наведеного вище виразу, керуючий вплив, як у статичному, так і в динамічному режимах роботи пропорційний сигналу помилки й тому цей закон називається пропорційним, а об'єкт - П-регулятор.

Збільшення параметра настроювання - коефіцієнта передачі  $k_p$  підвищує точність і швидкодію системи, однак погіршує стійкість.

### 1.2.2 Інтегральний закон регулювання (І-Закон).

Рівняння інтегрального закону:  $u(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau$  або  $T_i \frac{du(t)}{dt} = \varepsilon(t)$

Передатна функція інтегрального закону регулювання:  $w_p(p) = \frac{k_i}{p} = \frac{k_p}{T_i p}$ .

При інтегральному законі регулювання керуючий вплив у кожний момент часу пропорційний інтегралу від сигналу помилки. Тому І-Регулятор реагує

головним чином на тривалі відхилення керованої величини від заданого значення - **повільний спосіб управління**. Короткочасні відхилення згладжуються цим регулятором. Характерною рисою І-Закону є те, що керуючий вплив змінюється доти, поки помилка не буде дорівнює нулю. Типовий І-Закон управління забезпечує астатизм у системі зі статичним об'єктом, тобто нульову сталу помилку при постійних впливах. Негативною стороною І-Закону є погіршення властивостей системи в перехідних режимах: зменшується швидкодія й збільшується коливальність.

### 1.2.3 Пропорційно-інтегральний закон регулювання (ПІ-закон).

Рівняння пропорційно – інтегрального закону:  $u(t) = k_p \varepsilon(t) + u(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau$

Передатна функція пропорційно – інтегрального закону регулювання:

$$w_p(p) = k_n + \frac{k_i}{p} = k_p + \frac{k_p}{T_i p} = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right) = \frac{k_p (T_i p + 1)}{T_i p}.$$

Цей закон найбільше часто реалізується в промисловій автоматичі. Він забезпечує астатизм у системі. Завдяки наявності інтегральної складової ПІ-регулятор забезпечує високу точність у сталому режимі, а при певному співвідношенні коефіцієнтів  $k_p$  і  $T_i$  забезпечує гарні показники якості в перехідних режимах. Керуючі пристрої, що реалізують ПІ-закон, мають два налаштованих параметри - коефіцієнт передачі  $k_p$  і постійну часу інтегрування  $T_i$ .

### 1.2.4 Пропорційно-диференціальний закон регулювання (ПД-закон).

Рівняння пропорційно - диференціального закону:  $u(t) = k_p \varepsilon(t) + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$

Передатна функція пропорційно – диференціального закону регулювання:  $w_p(p) = k_p (1 + T_d p)$ .

ПД-регулятор реагує не тільки на величину сигналу помилки, але й на швидкість її зміни. Завдяки цьому при використанні ПД-закону досягається попереджуючий ефект управління. Дія даного закону така ж, як і при введенні в систему ланки, що форсує.

Диференційна дія визначається швидкістю зміни помилки управління. Отже, це - **швидкий спосіб управління**, що, в остаточному підсумку, зникає при наявності постійних помилок. Такий спосіб іноді називається *прогнозуючим способом*, через його залежність від тенденції зміни помилки. Головним обмеженням способу, що диференціює, розглянутого в ізоляції від інших способів, є його тенденція формувати більші керуючі сигнали у відповідь на високочастотні сигнали помилки - помилки, викликані змінами уставки або шумом виміру. Його створення вимагає реалізованої передатної функції, тому звичайно до диференціювання додається полюс.

### 1.2.5 Пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання (ПІД-закон).

Рівняння пропорційно - інтегрально - диференціального закону:

$$u(t) = k_p \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + T_d \frac{d\varepsilon(\tau)}{dt}$$

Передатна функція пропорційно - інтегрально - диференціального закону регулювання:

$$w_p(p) = k_n + \frac{k_i}{p} + k_d p = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p\right) = k_p \frac{T_i p + 1 + T_i T_d p^2}{T_i p}$$

$$w_p(p) = k_p \frac{(T_i p + 1)(T_d p + 10)}{T_i p} = k_p \frac{T_i + T_d}{T_i} + \frac{k_p}{T_i p} + k_p T_d p$$

Найбільш гнучкий закон управління, ефективний при управлінні складними об'єктами.

Необхідна якість управління при використанні розглянутих типових законів досягається вибором настроечних параметрів - коефіцієнтів передачі й постійних часу відповідного тридцятимільйонного закону управління:  $k_n$ ,  $k_i$ ,  $k_d$  - коефіцієнти пропорційної, інтегральної й диференціальної частини;  $k_p$ ,  $k_p'$  - передатні коефіцієнти регулятора;  $T_i$ ,  $T_i'$  - постійні часу інтегрування;  $T_d$ ,  $T_d'$  - постійні часу диференціювання.

Параметри, що входять у різні форми записи типових законів управління, зв'язані між собою співвідношеннями:

$$k_n = k_p = k_p' \frac{T_i' + T_d'}{T_i'}; \quad k_i = \frac{k_p}{T_i} = \frac{k_p'}{T_i'}; \quad k_d = k_p T_d = k_p' T_d'$$

Складова, що диференціює, у розглянутих законах регулювання (ПД, ПІД) представлена у вигляді ідеальної диференціюючої ланки. Її створення вимагає реалізованої передатної функції, тому звичайно до диференціювання додається полюс:

$$w_{nd}(p) = k_p \left(1 + \frac{T_d p}{\tau_d p}\right)$$

$$w_{nid}(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_i p}{\tau_i p + 1}\right)$$

У відсутності інших обмежень, додаткова постійна часу  $\tau_d$  звичайно вибирається такою, що  $0.1T_d \leq \tau_d \leq 0.1T_d'$ . Чим менше додаткова постійна часу диференціювання  $\tau_d$ , тим більше діапазон частот, де реальне диференціювання відповідає точному диференціюванню.

Класичний аргумент вибору  $\tau_d \neq 0$ , крім забезпечення належних фізично реалізованих характеристик регулятора, зменшення високочастотний шум. Останній момент проілюстрований на рисунку, що показує, що реальне диференціювання гарне наближає точне диференціювання на частотах до  $\frac{1}{\tau_d}$



рад/с, однак це приводить до обмеженого посилення на високих частотах, у те час як точне диференціювання має необмежене посилення (див. Рис. 1.11).

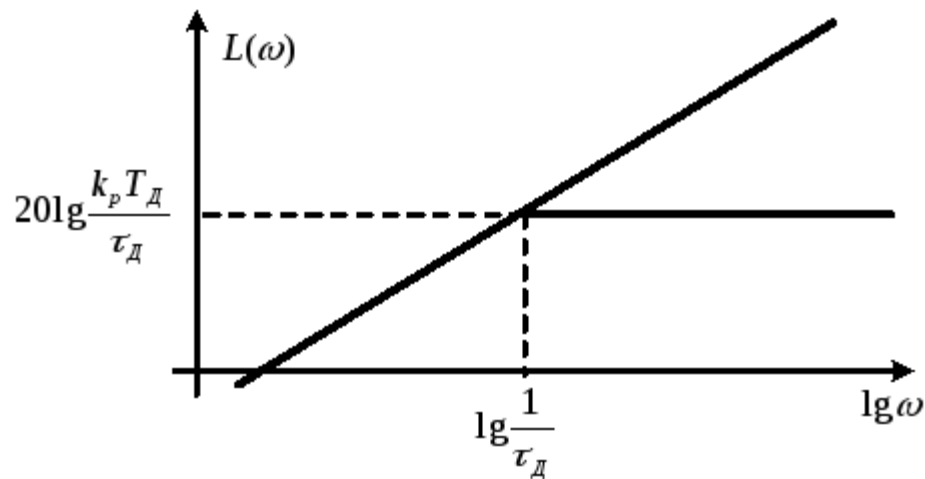


Рис. 1.11 Залежність шуму (завад) від частоти

Оскільки було показано, що  $\tau_d \neq 0$  є необхідним злом, тобто як необхідний відхід від чистої диференціальної дії, майже у всіх промислових Під-Регуляторах один раз установлюють  $\tau_d$  як фіксовану частку  $T_d$ , а не розглядають її як незалежний параметр проектування зі своїм власним призначенням. Однак згодом стало ясно, що додаткова постійна часу диференціювання  $\tau_d$  є важливим ступенем волі, доступної проектувальникові. Треба бути обережним при використанні правил настроювання ПД-регулятора, тому що є різні варіанти параметризації (завдання параметрів):

$$w_{нид}(p) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i p} + \frac{T_d p}{\tau_d p + 1} \right) \quad (1)$$

$$w_{послідов}(p) = k_n \left( 1 + \frac{k_i}{p} \right) \left( 1 + \frac{k_d p}{\gamma k_d p + 1} \right) \quad (2)$$

$$w_{паралел}(p) = k_n + \frac{k_i}{p} + \frac{k_d p}{\gamma k_d p + 1} \quad (3)$$

Рівняння (1) називають стандартною формою. Альтернативна, послідовна форма представлена рівнянням (2), паралельна форма - рівнянням (3).

### 1.3 Висновок

На сьогодні існує велика кількість способів визначення параметрів речовини. Зокрема, для вимірювання температури їх біля десятка. Однак не кожен може підійти їз-за невідповідності технологічним параметрам процесу (надмірне споживання енергії и громіздкість). Найбільш часто використовуваним у електроніці є термопари, що здатні працювати з переважною більшістю відомих мікроконтролерів. Зокрема, пропорційно-диференціально-інтегральними.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ докум.	Пілпис	Дата		27



два гідростатичних датчики тиску, які встановлені на певній фіксованій відстані один від одного по висоті резервуара, а також різнотипні електронні блоки, які фіксують значення тиску нижнього датчика в момент переходу рідиною рівня верхнього датчика та на основі цього зафіксованого тиску і значення відстані між датчиками обчислюють щільність та рівень рідини в резервуарі. Така система має наступні проблеми:

- низька надійність та низька точність вимірювання значення рівня рідини через відсутність можливості здійснення в автоматичному режимі періодичних діагностичних перевірок справності датчиків тиску;
- висока вартість обслуговування, оскільки для забезпечення відповідної точності вимірювання рівня час від часу необхідно здійснювати незалежні діагностичні перевірки справності датчиків тиску, встановлених по висоті резервуара (в багатьох випадках тільки в умовах повного спустошення і подальшого калібрувального наповнення резервуарів рідинним продуктом);
- низька інформативність системи через відсутність блока відображення інформації про поточне значення рівня.

Найбільш близькою до запропонованої є система, яка застосовується для реалізації способу автоматичного контролю рівня і щільності розчину у випарному апараті [23], що прийнята як прототип. Дана система автоматичного контролю рівня і щільності містить перший і другий датчики рівня, встановлені у сепараційному просторі випарного апарата на певній фіксованій відстані один від одного, та арифметичний блок, який здійснює одночасну неперервну реєстрацію електричних сигналів вимірювачів, обчислює поточне значення різниці між даними сигналами і на підставі цієї різниці та значення відстані між вимірювачами визначає поточні значення рівня та щільності рідини у випарному апараті.

Така система має наступні проблеми:

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Апк
Змн	Апк	№ доквм	Підпис	Дата		29

- низька надійність та точність вимірювання значення рівня при відсутності періодичних діагностичних перевірок (в автоматичному режимі) справності гідростатичних вимірювачів, встановлених у випарному апараті, що пов'язано з можливістю відхилення параметрів вимірювачів від номінальних, зниження точності при появі похибки вимірювання та ін.;
- висока вартість обслуговування, оскільки для забезпечення заданої точності вимірювання необхідно періодично здійснювати незалежні діагностичні перевірки
- низька інформативність системи через відсутність блока відображення інформації про поточне значення рівня.

Відмінністю даної моделі є підвищення надійності системи автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах за рахунок можливості дискретного самотестування датчиків в автоматичному режимі та удосконалення системи за рахунок заміни другого гідростатичного вимірювача на дискретний датчик фіксованого рівня, який встановлений по висоті резервуара над першим вимірювачем, та додаткового введення джерела опорної напруги, суматора, першого та другого блоків обчислення модуля, диференціального блока, керованого ключа, порогового елемента, лічильника імпульсів та блока відображення обробленої інформації, що дозволить підвищити надійність та точність вимірювання значення рівня з виключенням необхідності періодичних діагностичних перевірок справності гідростатичних датчиків тиску в умовах призупинення відповідного технологічного процесу, а також знизити вартість обслуговування та підвищити інформативність системи.

Поставлена задача вирішується тим, що до складу системи автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах з дискретним самотестуванням, що містить два вимірювачі, встановлені у робочому просторі резервуара на відповідній фіксованій відстані один від одного по висоті резервуара, та арифметичний блок, вхід якого підключений до виходу першого вимірювача,

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ доквм	Підпис	Дата		30

причому перший вимірювач виконаний у вигляді гідростатичного датчика тиску, згідно з корисною моделлю, додатково введено джерело опорної напруги, суматор, перший та другий блоки обчислення модуля, диференціальний блок, керований ключ, пороговий елемент, лічильник імпульсів та блок відображення обробленої інформації, другий вимірювач виконаний у вигляді дискретного датчика фіксованого рівня рідини, вихід арифметичного блока підключений до першого входу блока відображення обробленої інформації та інверсного входу суматора, прямий вхід якого з'єднаний з виходом джерела опорної напруги і сигнальним входом дискретного датчика фіксованого рівня рідини, а вихід суматора - через перший блок обчислення модуля з інформаційним входом керованого ключа, вихід дискретного датчика фіксованого рівня через послідовно з'єднані диференціальний блок та другий блок обчислення модуля підключений до керувального входу керованого ключа, вихід якого з'єднаний з входом порогового елемента, входом лічильника імпульсів та другим входом блока відображення обробленої інформації, третій вхід якого підключений до виходу порогового елемента, а четвертий вхід - до виходу лічильника імпульсів, арифметичний блок містить додаткове джерело опорної напруги та блок ділення, перший вхід та вихід якого з'єднані, відповідно, з входом та виходом арифметичного блока, а другий вхід - з виходом джерела опорної напруги, причому другий вимірювач встановлений по висоті резервуара над першим вимірювачем, а блок відображення обробленої інформації виконано чотириканальним з забезпеченням можливості відображення поточного значення рівня рідини в резервуарі, похибки вимірювання рівня рідини першим вимірювачем, загальної кількості самотестувальних процедур між вимірювачами та сигнальної інформації про несправність першого вимірювача при перевищенні максимально допустимого значення похибки вимірювання рівня рідини.

Схемотехнічна реалізація системи автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах з дискретним самотестуванням дозволяє з достатньо високою точністю визначати та наглядно відображати поточне значення рівня рідини в резервуарах за допомогою арифметичного блока та блока відображення обробленої інформації на основі електричного сигналу, що надходить від гідростатичного датчика тиску, а також постійно здійснювати в автоматичному режимі його діагностичне тестування за допомогою дискретного датчика фіксованого рівня та інших логічних елементів системи. При цьому суттєво підвищується точність, надійність та інформативність системи автоматичного контролю рівня рідини, а також знижується вартість її обслуговування.

На кресленні наведена функціональна схема системи автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах з дискретним самотестуванням, де прийнято наступні позначення: 1 - гідростатичний датчик тиску (перший вимірювач); 2 - арифметичний блок, що містить додаткове джерело опорної напруги 3 та блок ділення 4; 5 - джерело опорної напруги; 6 - суматор; 7, 8 - перший та другий блоки обчислення модуля вхідного сигналу; 9 - дискретний датчик фіксованого рівня (другий вимірювач, що забезпечує замикання відповідних електричних контактів при досягненні рідиною фіксованого рівня або розмикання контактів - у протилежному випадку); 10 - диференціальний блок; 11 - керований ключ; 12 - пороговий елемент; 13 - лічильник імпульсів; 14 - блок відображення обробленої інформації; - вихідний електричний сигнал датчика рівня, що відповідає поточному значенню гідростатичного тиску рідини на дні резервуара; - вихідний електричний сигнал додаткового джерела опорної напруги 3, що відповідає добутку значень щільності робочої рідини  $\rho_r$  та прискорення вільного падіння  $g$ ;  $U_{LDT}$  - вихідний електричний сигнал арифметичного блока 2, відповідний поточному значенню рівня рідини в резервуарі;  $U_{L\Phi}$  - вихідний електричний сигнал джерела опорної напруги 5, відповідний фіксованому значенню рівня по висоті резервуара, на якому

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Апк
Змн	Апк	№ доквм	Підпис	Дата		32

встановлений дискретний датчик;  $\Delta U_L$  - різниця вихідних електричних сигналів джерела 50 опорної напруги 5 та арифметичного блока 2;  $U_{DE}$  - вихідний електричний сигнал диференціального блока 10;  $U_{PE}$  - вихідний електричний сигнал порогового елемента 12;  $n_{\Pi}$  - загальна кількість самотестувальних процедур системи (вихідний сигнал лічильника 13).

При попередньому налаштуванні системи автоматичного контролю рівня рідини в резервуарах з дискретним самотестуванням перший 1 та другий 9 вимірювачі встановлені у робочому просторі резервуара на відповідній фіксованій відстані один від одного по висоті резервуара, причому другий 9 вимірювач встановлений по висоті резервуара над першим вимірювачем 1. Вхід арифметичного блока 2 підключений до виходу першого вимірювача 1, а вихід - до першого входу блока відображення обробленої інформації 14 та інверсного входу суматора 6. Арифметичний блок 2 містить додаткове джерело опорної напруги 3 та блок ділення 4. Перший вхід та вихід блока ділення 4 з'єднані, відповідно, з входом та виходом арифметичного блока 2, а другий вхід - з виходом джерела опорної напруги 3. Прямий вхід суматора 6 з'єднаний з виходом джерела опорної напруги 5 і сигнальним входом дискретного датчика фіксованого рівня рідини 9. Вихід суматора 6 через перший блок обчислення модуля 7 підключений до інформаційного входу керованого ключа 11. Сигнальний вихід дискретного датчика фіксованого рівня 9 через послідовно з'єднані диференціальний блок 10 та другий блок обчислення модуля 8 підключений до керувального входу керованого ключа 11. Вихід керованого ключа 11 з'єднаний з входом порогового елемента 12, входом лічильника імпульсів 13 та другим входом блока відображення обробленої інформації 14. Третій вхід блока відображення обробленої інформації 14 підключений до виходу порогового елемента 12, а четвертий вхід - до виходу лічильника імпульсів 13. Блок відображення обробленої інформації 14 виконано



чотириканальним з забезпеченням можливості відображення поточного значення рівня рідини в резервуарі, похибки вимірювання рівня рідини першим вимірювачем, загальної кількості самотестувальних процедур між вимірювачами та сигнальної інформації про несправність першого вимірювача при перевищенні максимально допустимого значення похибки вимірювання рівня рідини.

### 2.3 Принцип дії

Запропонована система працює наступним чином.

Датчик рівня рідини 1 вимірює поточне значення заповненості об'єму  $p_p$  на дні резервуара та формує на виході відповідний електричний сигнал  $U_{pгдт}$ . Додаткове джерело опорної напруги 3 арифметичного блока 2 формує на виході електричний сигнал  $U_{pg}$ , що відповідає добутку значень щільності робочої рідини  $p_p$  та прискорення вільного падіння  $g$ . Значення даного електричного сигналу  $U_{pg}$  на виході додаткового джерела опорної напруги 3 попередньо встановлюється оператором системи автоматичного контролю рівня в залежності від значення щільності робочої рідини  $\rho_p$ . Арифметичний блок 2, в свою чергу, за допомогою блока ділення 4 розраховує поточне значення рівня рідини в резервуарі  $L_p$ , формує на своєму виході відповідний значенню рівня електричний сигнал  $U_{Lгдт}$  і передає його на перший вхід блока відображення обробленої інформації 14 та на інверсний вхід суматора 6. При цьому сигнал  $U_{Lгдт}$ , що відповідає поточному значенню рівня рідини  $L_p$ , у резервуарі, формується на 30 виході блока ділення 4 і, відповідно, на виході арифметичного блока 2, згідно з залежністю 
$$L_p = \frac{p_p}{\rho_p g}$$

Джерело опорної напруги 5 формує на виході електричний сигнал  $U_{L\phi}$ , що відповідає фіксованому значенню рівня  $L_\phi$ , на якому встановлений

дискретний датчик рівня рідини 9, та передає його на прямий вхід суматора 6, а також на сигнальний вхід дискретного датчика фіксованого рівня рідини 9. Суматор обчислює різницю електричних сигналів  $\Delta U_L (\Delta U_{L\Phi} - U_{ЛГДТ})$  джерела опорної напруги 5 та арифметичного блока 2, значення якої надходить на вхід першого блока обчислення модуля 7. Вихідний сигнал  $|\Delta U_L|$  першого блока обчислення модуля 7, що відповідає значенню похибки вимірювання рівня  $\Delta L_p$  гідростатичним датчиком тиску 1, в свою чергу, надходить на інформаційний вхід керованого ключа 11.

При включенні (спрацьовуванні) дискретного датчика фіксованого рівня рідини 9 (в момент досягнення рівня рідини  $L_\Phi$ ) вихідний електричний сигнал  $U_{L\Phi}$  джерела опорної напруги 5 через замкнуті електричні контакти датчика 9 надходить на диференціальний блок 10, який при цьому формує на виході додатний імпульсний електричний сигнал  $U_{ДЕ} = \frac{dU_{L\Phi}}{dt}$ . В свою чергу, якщо поточний рівень рідини у резервуарі знижується відносно фіксованого рівня  $L_\Phi$ , розмикаються електричні контакти дискретного датчика фіксованого рівня рідини 9, а електричний сигнал  $U_{L\Phi}$  джерела опорної напруги 5 миттєво перестає надходити на диференціальний блок 10. Диференціальний блок 10 в цей момент часу формує на своєму виході від'ємний імпульсний електричний сигнал -  $U_{ДЕ}$ . Отже, в обох випадках (при замиканні і при розмиканні електричних контактів дискретного датчика фіксованого рівня рідини 9) відповідний додатний або від'ємний імпульсний електричний сигнал  $U_{ДЕ}$  з виходу диференціального блока 10 надходить на вхід другого блока обчислення модуля 8. При цьому на виході другого блока обчислення модуля 8 формується відповідний додатний імпульсний сигнал  $|U_{ДЕ}|$ , який надходить на керувальний вхід керованого ключа 11. В цей момент часу керований ключ 11 замикається, і електричний сигнал  $|\Delta U_L|$  надходить на другий вхід блока відображення

обробленої інформації 14, а також на входи порогового елемента 12 і лічильника імпульсів 13. Даний електричний сигнал також має імпульсну форму та по амплітуді відповідає значенню похибки вимірювання рівня  $\Delta L_p$  датчику рівня рідини 1. Пороговий елемент 12 при надходженні на його вхід імпульсного електричного сигналу  $|\Delta U_L|$  спрацьовує тільки при умові перевищення даним сигналом максимально допустимого значення  $\Delta U_{L\max}$ , яке відповідає максимально допустимому значенню похибки вимірювання рівня  $\Delta L_{p\max}$  рідини датчиком 1. Попереднє налаштування порогового елемента 12 здійснюється згідно з його статичною характеристикою

$$U_{\text{вих}12} = \begin{cases} U_{\text{ПЕ}}, \text{ при } U_{\text{вх}12} \geq \Delta U_{L\max} \\ 0, \text{ при } U_{\text{вх}12} < \Delta U_{L\max} \end{cases}$$

Отже, в системі реалізується процес самотестування першого вимірювача 1, а поява на виході порогового елемента 12 імпульсного сигналу  $U_{\text{ПЕ}}$ , який потім надходить на третій вхід 15 блока відображення обробленої інформації 14, відповідає несправності датчику рівня рідини 1. Лічильник імпульсів 13 в процесі багаторазового самотестування першого вимірювача 1 формує кількість імпульсів  $\Pi_{\Pi}$ , що надходять з інформаційного виходу керованого ключа 11, та передає цю інформацію на четвертий вхід блока відображення обробленої інформації 14.

При цьому значення вихідної напруги  $U_{L\Phi}$  джерела опорної напруги 5 та максимально допустиме значення вхідного сигналу  $\Delta U_{L\max}$  на пороговому елементі 12 попередньо встановлюються людиною-оператором даної системи в залежності від фіксованого значення рівня  $L_{\Phi}$ , на якому встановлений дискретний датчик 9, та максимально допустимого значення похибки вимірювання рівня рідини  $\Delta L_{p\max}$  гідростатичним датчиком тиску 1.

Блок відображення обробленої інформації 14, в свою чергу, має чотири інформаційних канали, через які надходить інформація від датчику рівня рідини

1, першого блок блока обчислення модуля 7, порогового елемента 12 та лічильника імпульсів 13. Людино- машинний інтерфейс блока відображення обробленої інформації 14 в процесі функціонування системи відображає поточне значення рівня рідини в резервуарі  $L_p$ , значення похибки вимірювання рівня рідини  $\Delta L_p$  гідростатичним датчиком тиску 1, загальну кількість проведених самотестувальних процедур  $\Pi_{\Pi}$  між датчиками 1 та 9 в зручній для людини-оператора формі. Крім того, при перевищенні максимально допустимого значення похибки вимірювання рівня рідини  $\Delta L_{p\max}$  і відповідному спрацьовуванні порогового елемента 12 блок відображення обробленої інформації 14 формує для оператора системи сигнальну інформацію про серйозну несправність гідростатичного датчика тиску 1.

## 2.4 Висновок

Таким чином, в даній системі автоматичного контролю рівня рідини кожного разу під час наповнення та спустошення резервуару, зокрема, при переході рівня рідини через фіксоване значення  $L_{\phi}$  та спрацьовуванні датчика 9 (замикання/розмикання електричних контактів), здійснюється самотестування справного стану роботи датчику рівня рідини 1.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ докум.	Підпис	Дата		37

### 3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

#### 3.1. Складові частини схеми електронного блоку системи автоматичної контролю параметрів рідини

Структурна схема АСК, складається з 10-х блоків.

- Потенціометри
- ПК
- ПЛК
- Вхідний контур (АЦП)
- Підсилювач вхідного контуру
- Вихідний контур (ЦАП)
- Підсилювач вихідного контуру
- Датчик температури
- Аварійні датчики
- Електромагнітний клапан
- Датчик рівня рідини

За допомогою потенціометрів відбувається встановлення коефіцієнтів для ПІД регулятора в місцевому режимі.

ПК слугує для вводу значень ПІД регулятора в дистанційному режимі та контролю і моніторингу установки.

ПЛК виконує виконує програму задану оператором та керує усіма вузлами установки.

Модуль вхідного контуру (АЦП) перетворює аналогові сигнали на цифрові та передає їх ПЛК.

Підсилювач вхідного контуру – узгоджуюча плата, перетворює аналоговий сигнал в напругу в діапазоні 0-10В.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		38

Модуль вихідного контуру (ЦАП) – перетворює цифрові сигнали в аналогові та передає їх ПЛК.

Підсилювач вхідних контурів – узгоджуюча плата, перетворює цифровий сигнал в напругу в діапазоні 0-10В.

Датчик температури вимірює температуру рідини та передає значення на ПЛК, слугує зворотнім зв'язком для ПЛК.

Датчик рівня вимірює заповненість резервуара рідиною, передає дані на ПЛК для наступного регулювання положення електромагнітної заслінки.

Аварійні датчики розміщені на установці та попереджають аварійні ситуації такі як: перегрів (відсутність води), струму на нагрівачі, порушенні ізоляції (пробої), знятті кожуха обладнання та ін.. Використовують дискретні входи ПЛК.

Електромагнітний клапан – пристрій для дозованого напуску рідини.

### **3.2. Вибір та обґрунтування окремих елементів системи автоматичного оновлення**

#### **3.2.1. ПЛК**

Програмований логічний контролер Рис. 3.1 ОВЕН ПЛК100 призначений для створення систем автоматизованого управління технологічним обладнанням в енергетиці, на залізничному транспорті, в різних областях промисловості, житлово-комунального та сільського господарства, на небезпечних виробничих об'єктах.

Логіка роботи ПЛК100 визначається споживачем в процесі програмування контролера. Програмування здійснюється за допомогою системи програмування CoDeSys 2.3.8.1 і старше.

Основним критерієм вибору промислового контролера “ОВЕН ПЛК-100” стало співвідношення ціна/якість.



Рис. 3.1 ОВЕН ПЛК-100

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики контроллера ПЛК100

Параметр	Значення
Конструктивне виконання	Уніфікований корпус для кріплення на ДІН-рейку (ширина 35 мм), довжина 105 мм (611), крок клемм 7,5 мм
Ступінь захисту корпусу	IP20
Напруга живлення: ПЛК100-24 ПЛК100-220	18-29 В постійного струму (номінальна напруга 24 В) 90-264 В постійного струму (номінальна напруга 220 В) частотою 47... 63 Гц
Споживана потужність, не більше ПЛК100-24 ПЛК100-220	6 Вт* 10 Вт
Індикація передньої панелі	1 індикатор живлення 8 індикаторів входів 12 індикаторів виходів
Ресурси	
Центральний процесор	32-х розрядний P15C-процесор 200 МГц на базі ядра ARM9
Об'єм оперативної пам'яті	8 Мбайт
Об'єм енергонезалежної пам'яті зберігання ядра Codesys програм та архівів	4 Мбайт**
Размер Retain-пам'яті	4 кбайт***
Час виконання циклу ПЛК	Мінімальне 250 мкс, типове від 1 мс
Дискретні входи	
Кількість дискретних входів	8
Гальванічна розв'язка дискретних входів	є групова
Електрична міцність ізоляції дискретних входів	1,5кВ
Максимальна частота сигналу, подаючого на дискретний вход	1 кГц при програмній обробці 10 кГц при застосуванні апаратного
Дискретні виходи	
Кількість дискретних виходів в: ПЛК100- 24.Р и ПЛК100-220.Р ПЛК100-24.К	6 є/м реле 6 сдвоєнних транзисторних ключів (всього 12 вихідних сигналів)
Гальванічна розв'язка дискретних виходів Електрична міцність ізоляції дискретних виходів	є, індивідуальна 1,5кВ

Основні технічні характеристики, характеристики вхідних сигналів і характеристики вбудованих вихідних елементів контролера ПЛК100 наведені в таблиці 3.1

### 3.2.2. Вхідний контур

Призначений для перетворення вимірюваних аналогових сигналів в цифровий код і передачі результатів вимірювання в мережу RS-485. Призначається для побудови автоматизованих систем збору даних у різних областях промисловості, сільського та комунального господарства, на транспорті. Рис. 3.2

Аналогові входи приладу можуть працювати в наступних режимах:

- Вимірювання струму в діапазоні від 4 до 20 мА;
- Вимірювання струму в діапазоні від 0 до 20 мА;
- Вимірювання струму в діапазоні від 0 до 5 мА;
- Вимірювання напруги в діапазоні від 0 до 10 В.

Основним критерієм вибору “ОВЕН МВ-110” стало співвідношення ціна/якість.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ док.м.	Піппис	Лата		41





Рис. 3.2. ОВЕН MB-110

#### Технічні характеристики приладу

Прилад забезпечує вимірювання наступних уніфікованих сигналів відповідно до ГОСТ 26.011-80:

- Струм від 4 до 20 мА;
- Струм від 0 до 20 мА;
- Струм від 0 до 5 мА;
- Напруга від 0 до 10 В.

Прилад працює в мережі RS-485 по протоколах ОВЕН, Modbus-RTU, Modbus-ASCII, DCON..

Прилад має наступні групи гальванічно ізольованих ланцюгів:

- Ланцюги живлення приладу;
- Ланцюги інтерфейсу RS-485;

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		42

- Ланцюги виходу вбудованого джерела постійної напруги 24 В (для MB110-220.8AC);
- Ланцюги вимірювальних входів;

Електрична міцність ізоляції всіх груп ланцюгів, виключаючи групу ланцюгів живлення, відносно один одного - 750 В, щодо групи ланцюгів живлення - 3000 В.

Прилад не є Майстром мережі, тому мережа RS-485 повинна мати Майстер мережі, наприклад, ПК із запущеною на ньому SCADA-системою, контролер або регулятор.

До приладу надається безкоштовний OPC-драйвер і бібліотека стандарту WIN DLL, які рекомендується використовувати при підключенні приладу до SCADA-системам і контролерам інших виробників.

Конфігурування приладу здійснюється на ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОБЕН AC3-M або AC4) за допомогою програми «Конфігуратор M110», що входить в комплект поставки.

### 3.2.3. Вихідний контур

Прилад призначений для перетворення цифрових сигналів, переданих по мережі RS-485, в аналогові сигнали діапазоном від 0 до 10 В для управління виконавчими механізмами або для передачі сигналів приладів реєстрації та самописцям. Рис 3.3.

Основним критерієм вибору “ОБЕН МУ-110” стало співвідношення ціна/якість.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ док-м.	Підпис	Дата		43



Рис. 3.3. ОВЕН МУ-100

#### Технічні характеристики приладу

МУ110 працює в мережі RS-485 по протоколах ОВЕН, Modbus-RTU, Modbus-ASCII, DCON.

МУ110 не є Майстром мережі, тому мережа RS-485 повинна мати Майстер мережі, наприклад, ПК із запущеною на ньому SCADA-системою, контролер або регулятор. В якості майстра мережі можуть використовуватися прилади ОВЕН ТРМ151, ТРМ133, контролери ОВЕН ПЛК і т.п.

До МУ110 надається безкоштовний OPC-драйвер і бібліотека стандарту WIN DLL, які рекомендується використовувати при підключенні приладу до SCADA-системам і контролерам інших виробників.

Конфігурування МУ110 здійснюється за допомогою ПК через адаптер інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB (наприклад, ОВЕН АС3-М або АС4, відповідно) за допомогою програми «Конфігуратор М110», що входить в комплект поставки.



- Номінальний аналоговий вихідний струм – 25 мА
- Коефіцієнт перетворення – 10 mV/°C
- Струм споживання – 15 мкА

### 3.2.5 Датчик рівня рідини



Рис. 3.5. Датчик рівня рідини SHR-1-N ELKO EP

Було вирішено використати аналоговий SHR-1-N ELKO EP, як один з ростих та практичних рішень.

Технічні характеристики:

- Вага – 0.02 кг
- Робоча напруга – 2.7-5.5 В
- Діапазон робочої температури от 0 до + 120 °C
- Поперечне січення під'єднувальних провідників – 0.5-2.5 мм<sup>2</sup>
- Номінальний аналоговий вихідний струм – 25 мА
- Струм споживання – 0.05 мкА

### 3.3. Технічний опис та розрахунки, необхідні для побудови електронного блоку АСР

Електрична схема системи автоматичного керування складається з датчика температури, підсилювача (калібратора) сигналу з датчика температури,

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		46

аналого-цифрового перетворювача, ПД-регулятора, створеного на базі мікроконтролера ПЛК-100, цифро-аналогового перетворювача, обмежувача максимального струму електромагнітного клапана, підсилювача сигналу керуючої дії та котушки електромагнітного приводу електромагнітного клапана потоку.

В якості датчика струму електронних детекторів у більшості випадків використовують низькоомний опір, який включають на низькопотенціальній ланці схеми системи живлення детектора між позитивним полюсом джерела живлення та заземленим корпусом установки. Такий датчик є дешевим та простим у використанні. Проте має суттєві недоліки, основними з яких є наявність гальванічного зв'язку між схемою керування та корпусом установки, а також залежність опору датчика від його температури.

Більш ефективним є датчик температури, який працює на ефекті Пельтьє. Такий датчик встановлюють поблизу детектора. Він є гальванічно розв'язаним від джерела живлення, що значно знижує вплив нестабільностей в детекторі на роботу системи автоматичного керування її струмом. Проте має низький по амплітуді та слабкий по потужності вихідний сигнал, що потребує додаткового його підсилення та адаптації до мікроконтролера, що застосовується.

Для розробленої системи автоматичного керування струмом, вибрано датчик, який працює на базі ефекту Пельтьє, TMP36, і здійснює перетворення вхідних струмів: постійного, змінного, імпульсного та інш. в пропорційний вихідний струм з гальванічною розв'язкою між первинним (силовим) та вторинним (вимірювальним чи регулюючим) електричними ланцюгами.

Калібратор сигналу з датчика струму детекторі зібраний на підсилювачі напруги U1A з регулюємим коефіцієнтом підсилення та підсилювачем струму U1B. Регулювання амплітуди сигналу, що поступає на вхід мікроконтролера

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Апк
Змн	Апк	№ докум.	Підпис	Дата		47

може здійснюватись в широкому діапазоні за допомогою потенціометра XS1. R1 є резистором навантаження для температури, а конденсатор C1 та стабілітрон VD1 забезпечують обмеження струму ТЕНу при перегріві.

Мікроконтролер ПЛК-100 виконує функцію ПІД-регулятора в системі автоматичного регулювання струму нагрівника. При цьому параметри налаштування регулятора визначаються шляхом комп'ютерного моделювання системи керування та задаються за допомогою сенсорного екрану мікроконтролера, конструктивно розташованого на передній панелі електронного блоку керування. Оптимальне налаштування параметрів ПІД-регулятора здійснюється безпосередньо при роботі системи на конкретній установці з заданими температурними характеристиками.

Обмежувач струму фактично є обмежувачем пропускної здатності клапана, що розширює можливості адаптування системи автоматичного керування струмом до різних за характеристиками систем.

Величина максимального струму електромагнітного клапана рідини визначається розрахунковим шляхом при комп'ютерному моделюванні системи автоматичного керування струмом ОУ, та корегується при налаштуванні роботи системи керування на конкретному обладнанні.

Необхідно відзначити, що обмеження струму здійснюється по сигналу з датчика температури. Тобто при зміні величини активного опору котушки електромагніту, що має місце при його нагріванні, струм ОУ не зміниться.

Обмежувач струму ТЕНа зібраний на мікросхемі LM358N і містить в собі суматор сигналів U1A та підсилювач U2B.

При роботі схеми сигнал керуючої дії з мікроконтролера поступає на неінвертуючий вхід U1A, далі на підсилювач потужності VT1, VT2, і після цього подається на електромагнітний клапан.

При цьому сигнал з датчика температури  $U_{д.т.}$  поступає на диференційний підсилювач U2B, де порівнюється з сигналом  $U_{зад.}$  з задатчика XS1, який встановлено у відповідності до необхідної величини. При роботі системи керування в діапазоні низьких потоків рідини, коли сигнал з датчика контролю рівня заповненості рідини менший за критичний, на виході U2B маємо напругу негативної полярності, яка завдяки VD1 не поступає на інвертуючий вхід U1A і сигнал керуючої дії вільно проходить на підсилювач потужності. У випадку, коли  $U_{д.н.} > U_{зад.}$  на інвертуючий вхід поступає сигнал позитивної полярності, який обмежує струм з U1A.

Технічні дані елементної бази, що використовується в системі автоматичного керування взяті з довідкової літератури та технічних описів виробників.

Виходячи з технічних даних на датчик температури TMP36 обираємо величину резистору навантаження  $R1 = 200 \text{ Ом}$ . Максимальний струм термореле в усталеному режимі становить 1 А. Тоді максимальна амплітуда вихідного сигналу в усталеному режимі  $U_{д.мах}$  визначимо з формули

$$U_{д.мах} = K_N \cdot I_{г.мах} \cdot R1,$$

де  $K_N$  - коефіцієнт перетворення датчика,  $I_{г.мах}$  - максимальний струм в усталеному режимі.

$$U_{д.мах} = \frac{1}{2000} \cdot 1 \cdot 200 = 0,1 \text{ В}.$$

Не зважаючи на малу амплітуду вихідного сигналу з датчика (0,1 В) ми знаємо, що при зниженні рівня рідини можливий перегрів. Тому для захисту



активних елементів схеми електронного блоку паралельно датчику встановлено схему C1, R4, DD1, що обмежує максимальну амплітуду вихідного сигналу.

Стабілітрон DD1 розрахований на обмеження амплітуди сигналу на рівні 7 В. Тоді баластний опір при струмі через стабілітрон  $I_{ст.} = 3 \text{ мА}$  буде становити

$$R4 = \frac{U_{дж} - U_{ст}}{I_{ст}} = \frac{8}{3 \cdot 10^{-3}} = 2,66 \text{ кОм}$$

Враховуючи, що внутрішній опір датчика температури  $R_{дв} = 150 \text{ Ом}$ , виберемо найближчий стандартний номінал  $R4 = 2,4 \text{ кОм}$ .

На вхід мікроконтролера повинен поступати калібрований сигнал з датчика температури  $0 - 3.4 \text{ В}$ , який буде відповідати температурі в діапазоні  $-40 - 125 ^\circ\text{C}$ . Для підсилення сигналу з датчика по амплітуді застосуємо підсилювач сигналу на операційному підсилювачі U1A. При цьому коефіцієнт підсилення повинен бути регульованим для можливості точного налаштування і становити

$$K_y = \frac{XS1}{R_{дв} + R4 + R2} \geq 100$$

Сигнал керуючої дії з мікроконтролера через цифро-аналоговий перетворювач поступає на неінвертуючий вхід U1A і далі на підсилювач потужності VT1, VT2. Обмеження струму ТЕНа відбувається, коли сигнал з датчика температури стає більшим сигналу з задатчика. Джерело напруги задатчика являє собою параметричний стабілізатор DD1, R7 та ділник напруги R10, XS1. Баластний опір R7 визначається за формулою

$$R7 = \frac{U_{дж} - U_{ст}}{I_{ст}},$$

де  $U_{дж}$  – напруга джерела живлення;  $U_{ст}$  - напруга стабілізації,  $I_{ст}$  - номінальний струм стабілізації.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ док.ум.	Підпис	Дата		50

$$R7 = \frac{12-3}{5 \cdot 10^{-3}} = 1,8 \text{ кОм}$$

Опір R4 слугує для обмеження максимального струму U1A при виході з ладу VT1, VT2.

$$R4 \geq \frac{U_{\text{дм}}}{I_{\text{м}}} = \frac{15}{12 \cdot 10^{-3}} = 1,25 \text{ кОм}$$

Підсилювач сигналу повинен забезпечувати необхідний струм через електромагнітний клапан і при цьому видавати потужність на колекторі VT2 рівну

$$P_{K2} = (U_{\text{дж}} - U_{\text{кол}}) \cdot I_{\text{кол}},$$

де  $U_{\text{т}}$ ,  $I_{\text{т}}$  - напруга та струм електромагнітного клапана при роботі в режимі максимальної пропускної здатності.

Знаючи, що максимальний короточасний струм через котушку електромагнітного клапана допускається 1 А, визначимо, яким повинен бути загальний коефіцієнт підсилення струму транзисторної збірки VT1, VT2.

$$K = \frac{I_{\text{кол.мак}}}{I_{\text{VD1мак}}} = \frac{1}{12 \cdot 10^{-2}} = 83,3.$$

Враховуючи, що коефіцієнт  $\beta$  кожного транзистора не менше 20 ( $20 \times 20 = 400$ ), то збірка VT1, VT2 влаштовує нас по загальному коефіцієнту підсилення струму.

Потужність, що буде виділятися на VT2

$$P_{K2} = (12-8) \cdot 1 = 4 \text{ Вт}$$

Максимальна потужність транзистора КТ815А з тепловідведенням складає 10 Вт, тобто транзисторна збірка VT1, VT2 влаштовує нас по максимальних вихідних параметрах.

Для живлення елементів схем рис.3.1 та рис. 3.2 доцільно вибрати стандартні джерела живлення, що розповсюджені в торговій мережі.

Для схеми рис. 3.1 необхідне двополярне джерело живлення +15В, -15В, що забезпечує вихідний струм

$$I_{\text{дм}} = I_{\text{дх}} + I_{\text{м}},$$

де  $I_{\text{дх}}$  - струм датчика температури;  $I_{\text{м}}$  - струм мікросхеми LM358N.

$$I_{\text{дх}} = I_{\text{с}} + I_{\text{вих}};$$

Максимальний струм, який може споживати мікросхема LM358N може становити  $12 \text{ мА} \times 2 = 24 \text{ мА}$ .

Тобто для живлення елементів схеми рис. 3.1 необхідне двополярне джерело стабілізованої напруги  $\pm 15\text{В}, \geq 40 \text{ мА}$ .

Враховуючи, що струм джерела живлення схеми рис. 3.2 визначається в основному показами температури, то для живлення такої схеми може бути використане джерело з параметрами  $\pm 12\text{В}, (1 - 1,5) \text{ А}$ .

#### **3.4. Розробка схеми електричної підсилювача вихідних контурів**

Схему електричну принципову підсилювача вихідних контурів розроблено за допомогою програмного забезпечення “Splan” в форматі A2 на Рис. 3.6..

Основні вузли:

- X1 – розім
- E1 – джерело живлення 12 В
- R6, R11, R9, R13 – струмообмежуючі резистори, входів мікросхеми
- R8, R14 – резистори дільники напруги

- R10 – резистор-фільтр від поміх
- R16, R15 – резистори зворотного зв'язку
- R7 – потенціометр амплітуди сигналу
- R12 – резистор обмежує струм бази транзистора VT1
- VD2 – діод Шотки стабілізує задання амплітуди
- VT1, VT2 – транзистори в схемі Дарлінгтона утворюють максимальне підсилення по струму та керують на тікачем
- JS – Електромагнітний клапан
- DA1- операційний підсилювач

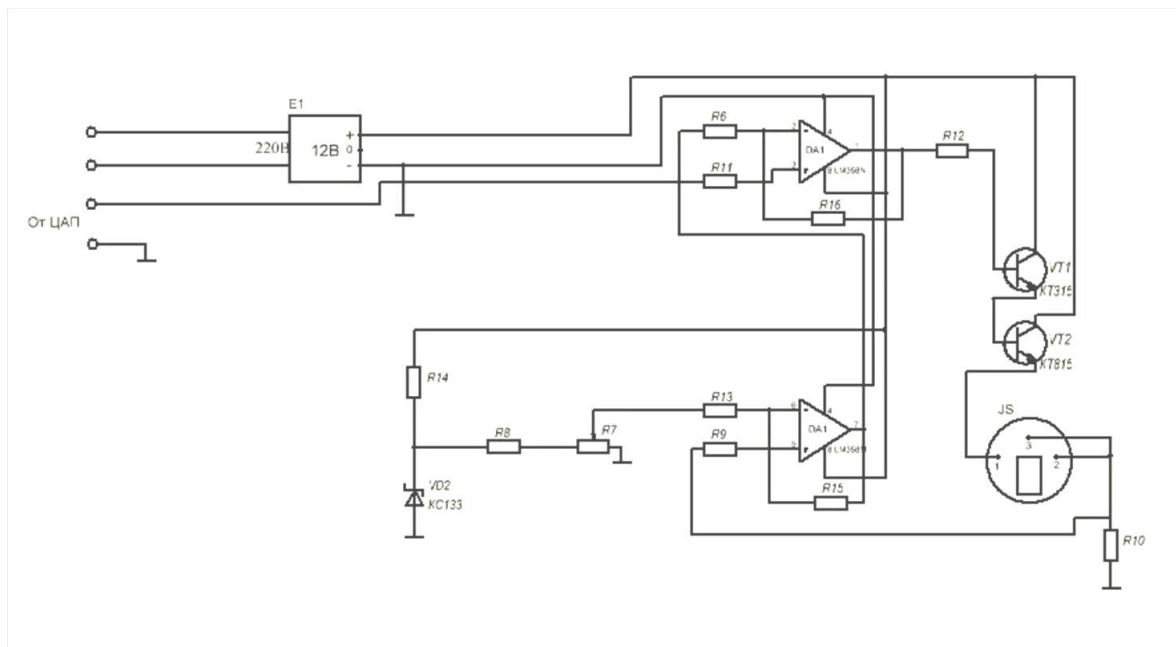


Рис. 3.6. Електрична схема вихідних контурів

Сигнал з ПЛК потрапляє на плату підсилювача вхідного контуру, де через резистор R11 потрапляє на операційний підсилювач DA1, далі через R12

підсилений сигнал потрапляє на базу VT1 звідти на базу VT2, підсилений сигнал по струму та напрузі потрапляє на електромагнітний клапан JS. Плата живиться від стабілізованого джерела живлення E1. Сигнал стабілізується за допомогою зворотнього зв'язку резисторами R15, R16, амплітуда сигналу обирається за допомогою потенціометру R7, через подільник напруги R14, R8 та стабілізується діодом Шотки VD2. Струм входів мікросхеми обмежують резистори R6, R11, R9, R13. Резистор R10 слугує фільтром.

### **3.5. Розробка схеми електричної підсилювача вхідних контурів**

Схему електричну принципову вхідних контурів розроблено за допомогою програмного забезпечення “Splan” в форматі A2 на Рис. 3.7..

Основні вузли:

- X1 – розім
- E1- стабілізоване джерело струму
- PA1 – датчик струму
- C1, VD1 – фільтр вихідного сигналу
- R5 – навантажувальний резистор
- R3, R4 – струмообмежуючі резистори
- R2- потенціометр задає амплітуду сигналу
- R1- опірний резистор

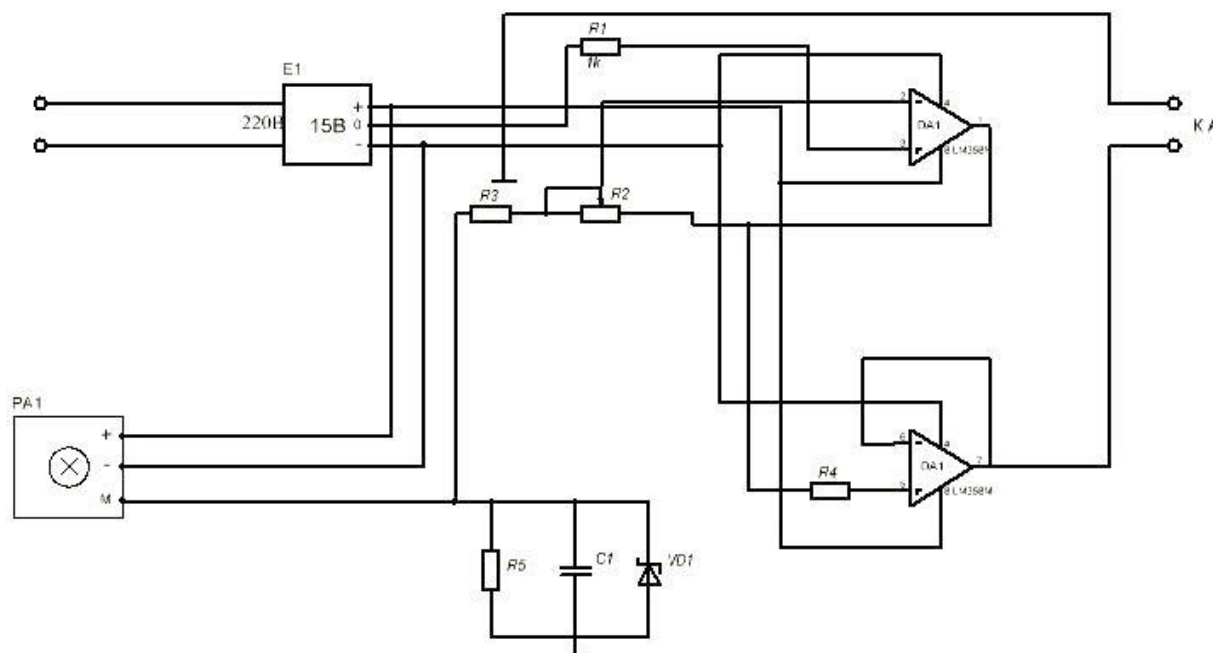


Рис. 3.7. Схема електрична вхідних контурів

Сигнал надходить від датчика струму PA1, фільтрується каскадом R4, C1, VD1, далі струм обмежується резисторами R3, R4 та налаштовується амплітуда сигналу потенціометром R2, після чого підсилюється операційним підсилювачем DA1 та потрапляє на вхідний контур. Вся схема живиться стабілізованим джерелом струму E1, резистор R1 є опорним для мікросхеми DA1.

### 3.6. Розробка схеми електричної АСК

Схему електричну принципову АСП (Рис. 3.8.), розроблено за допомогою програмного забезпечення “Splan” в форматі A2, представлена в документі ДЕ62.420.301.003. ЕЗ.

Основні вузли:

- X1 – розім

- A1 - ПЛК
- A2 – АЦП
- A3 - ЦАП
- E1 – стабілізоване джерело струму
- QF1 – автоматичний вимикач
- KV1 – проміжне реле
- SQ1,SQ2-SQ6 – контакти аварійних датчиків
- R2-R5 – потенціометри задання коефіцієнтів

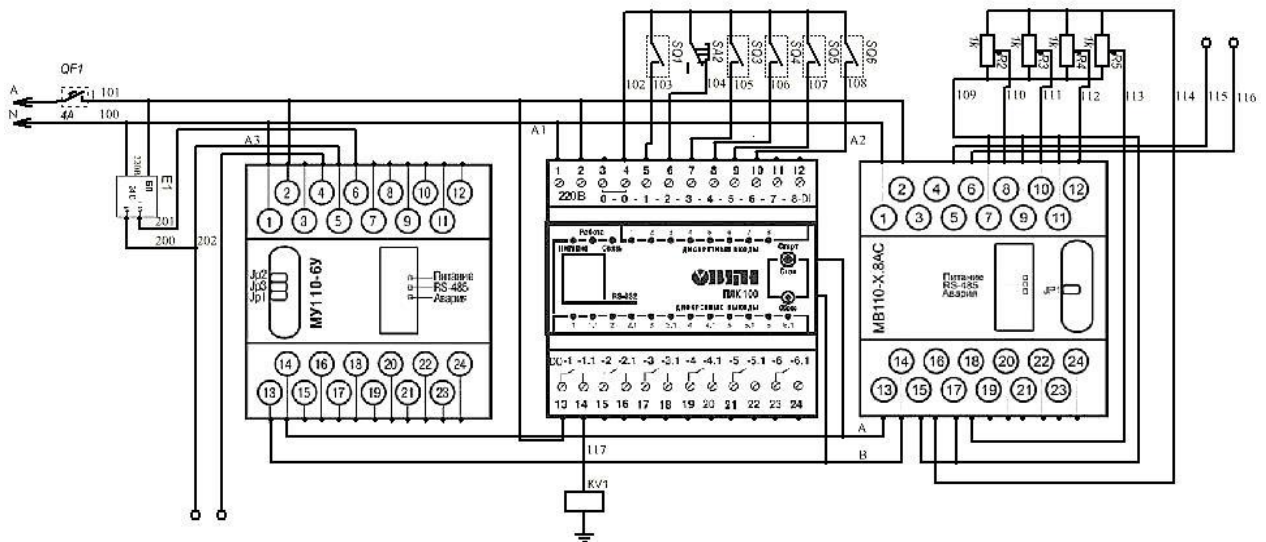


Рис. 3.8. Схема електрична АСК

Всі сигнали надходять до ПЛК А1 де оброблюються та виконуються відповідні функції. Сигнал від датчика температури та потенціометрів потрапляє на вхідний контур А2 де перетворюються в цифровий сигнал та передаються ПЛК, сигнал ПІД регулятора передається від ПЛК до вихідного контуру А3, всі

сигнали аварійних датчиків передаються на дискретні входи ПЛК. Всі модулі захищені автоматичним вимикачем QF1.

### 3.7. Висновок

Електрична схема системи автоматичного контролю параметрів рідини включає в себе програмований логічний контролер, ПД-регулятор, потенціометри, вхідні та вихідні контури з підсилювачами. Датчики температури та рівня рідини, електромагнітний клапан та аварійні.

У штатному режимі система лише контролює температуру та рівень рідини, що подаються на вхідні контури ПЛК-100 через підсилювачі. Вихідні контури керують струмом ТЕНа та положенням заслінки електромагнітного клапана. Підвищення температури призводить зниження струму ТЕНа, а перегрів – переривання. Датчик рівня рідини регулює положення електромагнітного клапана. Аварійні датчики вимикають устаткування при порушенні ізоляції, перегріві та знятті кожуха обладнання.

У якості датчика температури використовується аналоговий TMP36, що працює на ефекті Пельтьє. Датчик рівня рідини – SHR-1-N ELKO EP.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ док.м.	Піппис	Лата		57



## 4 РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Вступ

Для аналізу розроблено віртуальне приміщення, офіс, в якому працювати інженери – програмісти. В даному приміщенні робоче місце з ПЗЗ. Офіс призначений для 4 — ох чоловік. При роботі із розроблювальною системою керування, на працівника можуть впливати такі шкідливі й небезпечні виробничі фактори як: шум, електромагнітне та інфрачервоне іонізуюче випромінювання та електро– і пожежонебезпека.

В цьому випадку в розділі вказані рекомендації по організації режиму праці за ЕОМ (ПК) та ПЛК, розглянуті заходи по забезпеченню ергономічності та безпеки робочого місця.

### 4.2 Опис приміщення

Спроектоване офісне приміщення має мати розміри: довжина – 8м, ширина – 8м висота – 3,2 м, тобто площею  $64 \text{ м}^2$ , об'ємом  $204.8 \text{ м}^3$ . Площа і об'єм в розрахунку на одного працівника становлять :  $S1 = 16(\text{м}^2)$   $V1 = 51.2(\text{м}^3)$

Отже розміри приміщення в розрахунку на одного працівника відповідають нормам (відповідно  $S = 6\text{м}^2$  та  $V = 20\text{м}^3$ ) визначеним в

ДСанПіН 3.3.2.007–98.

Обладнання приміщення (див. рис. 5.1):

- столи—4 штуки (висота 700мм, ширина 1200мм (для стола інженера 1400мм), глибина 800мм) з вбудованою тумбочкою (має замок),
- ергономічні ортопедичні крісла з підлокітниками (4 штуки),

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ док.м.	Підпис	Дата		58

- шафа для зберігання дисків та документації (висота –800мм, ширина 3000мм, глибина 700мм),
- TFT монітор (4 штуки),
- клавіатура з традиційною розкладкою (4 штуки),
- оптичні мишки (4 штуки),
- принтер,
- телефон,
- факс,
- системні блоки (4 штуки),
- свіч,
- кондиціонер.

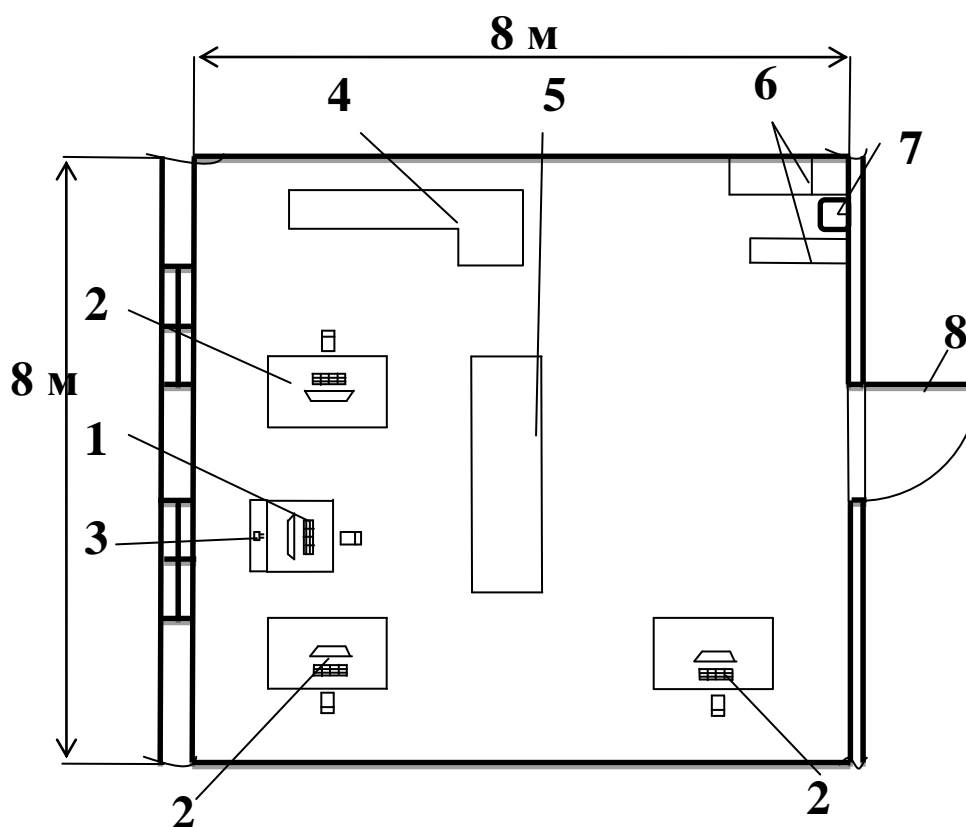


Рис.4.1 Загальний план робочої кімнати

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Апк
Змн	Апк	№ докум.	Підпис	Дата		59

1 — комп'ютеризоване робоче місце працівника; 2 – комп'ютеризоване робоче місце інших працівників; 3 — принтер; 4 – технологічне обладнання; 5 — шафа; 6 – побутові шафи; 7 – рукомийник, 8 – двері.

Обладнання приміщення відповідає ДСанПін 3.32.2007–98. Стільці та столи забезпечують оптимальну підтримку працівників. Столи оптимально розташовані: відстань між бічними поверхнями ВДТ (відео дисплейні термінали) більша за 1.2 м.

#### **4.3. Аналіз і оцінка шкідливих виробничих факторів**

##### **4.3.1 Аналіз мікроклімату**

Характер робочого місця – постійний, категорія робіт для даного Приміщення за ДСН 3.3.6.042–99 – легка 1а (роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження). Температура в теплий період повинна бути 21<sup>0</sup>С – 23<sup>0</sup>С, а в холодний 19<sup>0</sup>С – 21<sup>0</sup>С, відносна вологість 50% – 60%, швидкість руху повітря 0,1м/с, що згідно таблиць з ДСН 3.3.6.042–99 задовольняють оптимальним значенням. Дотримання температурного режиму забезпечується централізованими системами опалення та вентиляції. Опалення водяне із низьким тиском. Тип вентиляції–припливна.

##### **4.3.2 Аналіз шуму**

Джерелами випромінювання шуму в приміщенні с комп'ютери, принтер. Періодичність шуму — протягом робочого дня. Основним джерелом шуму є комп'ютери, а саме кулери «Zalman DeepCool XFAN5» (охолодження системного блоку), рівень шуму: 18 дБА; принтер «Xerox Phaser 3100MFP/X», рівень шуму – до 43 дБА.

Оскільки сумарне значення рівня шуму в приміщенні не перевищує допустиме – 50 дБА, тому отримані (паспортні) дані щодо шуму приладів

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		60

наявних у офісному приміщенні задовольняють допустимі значення, відповідно до ДСН 3.3.6.037–99.

#### **4.3.3 Аналіз електромагнітного та інфрачервоне випромінювання**

Джерелами інфрачервоного випромінювання в приміщенні є лампи та І комп'ютери. Основні способи захисту: часом, відстанню, усунення джерела тепловиділень, теплоізоляція, екранування й охолодження гарячих поверхонь, індивідуальні засоби захисту.

Теплова радіація в офісі становить:  $51 \text{ Вт/м}^2$ , що за ДСН 3.3.6.042–99 не перевищує  $70 \text{ Вт/м}^2$  – при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50%.

Джерелами електромагнітного випромінювання являються комп'ютери та принтер. Електромагнітне випромінювання в приміщенні знаходиться в межах норми згідно ДНАОП 0.00–1.31–99.

#### **4.3.4 Аналіз іонізуючих випромінювань**

Монітор і системний блок є джерелами іонізуючого випромінювання. Напруженість електричного поля на відстані 50 см. від монітору має не перевищувати:  $0.7 \text{ В/м}$  (допустима норма до  $1.0 \text{ В/м}$ ). Щільність магнітного потоку не повинна перевищувати:  $14 \text{ нТл}$  (допустима до  $25 \text{ нТл}$ ).

Отже згідно ДСанПіН 3.3.2.007–98 іонізуюче випромінювання в приміщенні знаходиться в межах норми.

#### **4.4. Аналіз освітлення**

Стіни приміщення мають бути світло-бузкового кольору, стеля – біла, підлога – ламінат світлий дуб, столи кольору «слонової» кістки. Згідно СНиП II–4–79, враховуючи орієнтацію вікна (на захід), приміщення може бути

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		61

виконане в будь-якій кольоровій гаммі, допустимому кольоровому контрасті між основними поверхнями і кількістю світла основних поверхонь інтер'єру.

Відповідно до ДБН В.2.5.-28-2006, зорова робота на даному приміщенні визначається як: високої точності. Система природного освітлення: бокове освітлення (вікно на всю бокову стіну 4.5м на 2м) Площа вікон:  $S = 9 \text{ (м}^2\text{)}$ .

Отже вікна в приміщенні, що розглядається, задовольняють вимоги ДБН В.2.5.-28-006 для природного освітлення.

В приміщенні має бути загальна система штучного освітлення: (ЗООлк). Чотирьохлампові світильники (4 шт.) утворюють дві лінії, що світять над робочими місцями. Таке розташування світильників підходить всім робочим місцям офісу. Штучне освітлення забезпечують люмінесцентні лампи Т5 Aquastar FHO54/174 довжиною 0.59 м потужністю 15 Вт,  $\Phi_{\lambda}=2800$  лм.

$$E_f = \frac{F_l * N_n}{S_k * z} = \frac{2800 * 4 * 4 * 0.43}{351.4 * 1.1} = 357.4 \text{ лк}$$

Штучне освітлення створює освітленість 357.4 лк, що задовольняє нормативне значення.(ДБН В.2.5.-28-2006).

#### **4.5. Аналіз електробезпеки**

Приміщення має постачатися електроенергією з трансформатора розташованого поза приміщенням офісу, напруга якого 220В. Режим нейтралі відносно землі заземлений. Режим електричної мережі офісу – трифазна. Електрична проводка повинна бути виконана: мідним проводом в поліхлорвініловій ізоляції, площа поперечного розрізу  $5 \text{ мм}^2$

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		62

Споживачами електричної енергії у приміщенні являються: комп'ютери, кондиціонер, принтер та ЛД лампи. Напруга, якою здійснюється живлення обладнання: 220В. Обладнання не має автономних джерел живлення. Комп'ютери мають блоки живлення: напруга – 220В, частота 50 Гц її. Клас | захисту від ураження електричним струмом в приміщенні слід віднести до класу І – приміщення без підвищеної небезпечності (сухі приміщення без пилу). Відповідно ДНАОП 0.00–1.21–98 в приміщенні виконані всі норми електробезпеки.

#### **4.6 Аналіз пожежної безпеки**

виходячи з властивості та кількості пожеже небезпечних матеріалів та речовин, це приміщення відноситься до категорії В, відповідно до НАПБ 6.03.002–2007. Все приміщення відноситься до пожежно–небезпечної зони класу П–Па. Вибухонебезпечних зон у приміщенні немає. Можливими джерелами запалювання можуть бути: комп'ютери, монітори і принтер; електромережа – мережеві фільтри («подовжувачі»), електромережа прокладена у стінах приміщення; електрощитова; коротке замикання в блоках комп'ютерів комп'ютерах.

В приміщенні повинна бути протипожежна сигналізація із датчиком диму (у верхньому правому від входу кутку), а також вогнегасники вуглекислотного типу ВВ–5 (4 одиниці на 40м<sup>2</sup>, розташовані на відстані 15м). Сигнал від датчика поступає на пост охорони, що знаходиться на 1–му поверсі.

#### **4.7. Інструкція по техніці безпеки**

Перед початком роботи на ИНОМ працівник повинен дотримуватись такої послідовності дій:

увімкнути систему кондиціювання повітря в приміщенні;

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Анк
Змн	Анк	№ док.м.	Підпис	Дата		63

оглянути робоче місце і привести його в порядок; впевнитись, що на ньому відсутні сторонні предмети; все обладнання і блоки ПЕОМ з'єднані з системним блоком за допомогою з'єднувальних шнурів;

перевірити загальний стан апаратури, перевірити справність електропроводки, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок, розеток, заземлення захисного екрана;

відрегулювати освітленість робочого місця;

відрегулювати та зафіксувати висоту крісла, зручний для оператора (користувача) нахил його спинки;

у разі необхідності приєднати до процесора необхідну апаратуру;

у разі виявлення будь-яких несправностей роботу не розпочинати та повідомити про це керівника робіт.

#### **4.8 Висновки**

В даному розділі було розглянуто умови для проведення робіт на ЕОМ (ПЛК) і знайдені параметри приміщення, що виявилися оптимальними для проведення робіт:

–робоча площа та об'єм приміщення на одного працівника  $16 \text{ м}^2$  і  $51.2 \text{ м}^3$  при мінімально необхідних  $6 \text{ м}^2$  і  $20 \text{ м}^3$ ;

–вплив шкідливих факторів на організм працівника в допустимих межах: основний діапазон робочих температур  $19^{\circ}\text{C}$  –  $23^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість 50% – 60%, максимальну потужність шуму видає принтер «Xerox Phaser 3100MFP/X», рівень шуму – до 43 дБА. При допустимому 50 дБА, теплова радіація  $51 \text{ Вт/м}^2$  (допустимо  $70 \text{ Вт/м}^2$ ), напруженість електричного поля на відстані 50 см. від монітору має не перевищувати: 0.7

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		64

В/м (допустима норма до 1.0 В/м), а магнітного потоку 14 нТл (допустима до 25 нТл);

–освітлення забезпечують 4 люмінесцентні лампи Т5 Aquastar FHO54/174, що видають 357.4 лк при мінімальних 300 лк;

–електробезпека відповідає нормам ДНАОП 0.00–1.21–98;

–приміщення має категорію пожежонебезпеки В, відповідно до НАПБ 6.03.002–2007. Тому в приміщенні необхідно, щоб були розташовані вогнегасники вуглекислотного типу ВВ–5 (4 одиниці на 40м<sup>2</sup>, розташовані на відстані 15м).

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Апк
Змн	Апк	№ док.ум.	Підпис	Дата		65



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Лаврентьев Б.Ф. Аналоговая и цифровая электроника: Учебное пособие. — Йошкар- Ола: МарГТУ , 2000. — 155 с.
2. Ключев О. В. Системи керування асинхронними вентиляними каскадами : монографія / О. В. Ключев, О. В. Садовой, Ю. В. Сохіна. — Кам’янське : ДДТУ, 2018. — 294 с.
3. Белов М. П. Автоматизованний електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч. закладів / М.П. Белов, В.А. Новіков, Л. Н. Розсудів. - 3-є изд., вип. - М.: Видавничий центр Академіям, 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2
4. Фізіологічні аспекти оцінки якості продуктів Ф 48 [Електронний ресурс] : навч. посібник / Л. Ф. Павлоцька [та ін.]. – Електрон. дані. – Х. : ХДУХТ, 2017.
- 5 ПІСКАРЬОВ О.,ФУРМАН І. О.. Комп’ютерна система контролю та діагностики параметрів технологічних процесів. – Н Ф О Р М А Ц І Й Н О – К Е Р У Ю Ч І С И С Т Е М И Н А З А Л І З Н И Ч Н О М У Т Р А Н С П О Р Т І., С. 61-62.
6. Трамперт, В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR-микроконтроллеров [Текст] / В. Трамперт: пер. С нем. – К.: “МК-Пресс”, 2006. – 208 с.
7. Піскарьов, О.М. Особливості математичного моделювання технологічного процесу обробки ґрунту //Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, – 2010. – №. 101. – С. 106-108.
8. Піскарьов, О.М. Моделі, методи та засоби діагностики технологічних процесів обробки ґрунту //Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, – 2012. – №. 130. – С. 45-46.
- 9 Г.І. Клим, «СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ НА БАЗІ PSOC З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ДАВАЧІВ,» *Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра спеціалізованих комп’ютерних систем*, pp. 53-58, 2011.

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Апк
Змн	Апк	№ док.ум.	Підпис	Дата		66

10 Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевичта С.В., Дружинін А.О., Євнух А.А., Лєсков С.В., Мельник В.Г., Романов В.О. Створення мікроелектронних датчиків нового покоління для інтелектуальних систем, – Одеса: Астропринт, 2010. – С. 289

11. Hadzaman I., Klym H., Shpotyuk O., Brunner M. Temperature sensitive spinel-type ceramics in thickfilm multilayer performance for environment sensors // Acta Physica Polonica A, 2010, No 1, v. 117.– P. 233–236.

12 Клим Г.І. Інтелектуальна система моніторингу довкілля з використанням плівкових сенсорів // Міжвузівський збірник “Комп’ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво”, № 5, 2011. – С. 120–125.

13 Мікропроцесорна техніка: Навчальний посібник з дисципліни для всіх форм навчання та студентів іноземців напряму підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”/Уклад. В.В.Кирик.-К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2014.- 183с.

14 Грабко В. В., Кучерук В. Ю., Возняк О. М. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с

15. Основи схемотехніки електронних схем / Бойко В.І., Жуйко В.Я. та інші. Підручник. – К.: Вища школа, 2004. – 526 с

16 .Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. Учеб. Для вузов. М.: Высшая школа, 2005.-768 с.

17 .Анисимов И.В. Основы автоматического управления технологическими процессами нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Л.: Химия, 1967. – 408с. Теория автоматического управления. Ч.1. Под ред. А.В. Нетушила.М.: Высшая школа, 1968.- 424 с.

18. Межвузовский сборник научных трудов. — Ульяновск: УлГТУ, 2009. — 200 с. — ISBN 978-5-9795–0400-00.

19. Грабко, В. В Система автоматичного керування трансформаторами з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги під навантаженням : монографія / В. В. Грабко, С. М. Левицький. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 119 с. ISBN 978-966-641-335-5

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Анк
Змн	Анк	№ док.м.	Підпис	Дата		67

20. І. О. Ковела Іван, «ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА СИНТЕЗУ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ,» Вимірювальна техніка та метрологія, т. 69, рр. 43-52, 2008.
21. Розробка програмної моделі нейромережевого під-регулятора в середовищі LabVIEW / В.А. Жеребко, В.В. Афанасьєв, А.С. Лясковський // Пробл. програмув. — 2011. — № 1. — С. 99-108. — Бібліогр.: 10 назв. — укр
22. Патент РФ № 2260776 С1, G01F 23/14, G01N 9/26, заявл. 06.04.2004, опубл. 10 20.09.2005
23. Патент РФ № 2133023 С1, G01N 9/26, заявл. 10.02.1998, опубл. 10.07.1999
24. Розробка програмної моделі нейромережевого під-регулятора в середовищі LabVIEW / В.А. Жеребко, В.В. Афанасьєв, А.С. Лясковський // Пробл. програмув. — 2011. — № 1. — С. 99-108. — Бібліогр.: 10 назв. — укр.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		68

## Додаток А Розробка програми для ПЛК

Код розроблено за допомогою компілятора CoDeSys.

Глобальні змінні:

VAR\_GLOBAL

PORT0 AT %IX0.0.0: BOOL;(\*Вход 30кВ\*)

PORT1 AT %IX0.0.1: BOOL;(\*Вход для тумблера  
месное/дистанционное управление\*)

PORT2 AT %IX0.0.2: BOOL;(\*Вход авария вода катод\*)

PORT3 AT %IX0.0.3: BOOL;(\*Вход авария вода анод\*)

PORT4 AT %IX0.0.4: BOOL;(\*Вход авария ток линзы1\*)

PORT5 AT %IX0.0.5: BOOL;(\*Вход авария ток линзы2\*)

DISCETE\_OUT AT %QX1.0: BOOL;(\*Выход для отключения реле  
управления 30кВ\*)

ADC1 AT %IW8.1.0.0: WORD;(\*Регистр для АЦП-1, значение с  
датчика\*)

TIM1 AT %IW8.1.1.0: WORD;(\*Регистр времени для АЦП-1\*)

ADC2 AT %IW8.1.2.0: WORD;(\*Регистр для АЦП-2, значение  
уставки\*)

ADC3 AT %IW8.1.3.0: WORD;(\*Регистр для АЦП-3, значение coef.  
пропорциональности\*)

ADC4 AT %IW8.1.4.0: WORD;(\*Регистр для АЦП-4, значение coef.  
интегральный\*)

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		69

ADC5 AT %IW8.1.5.0: WORD;(\*Регистр для АЦП-5, значение коэф. дифференциальный\*)

DAC1 AT %QW8.2.0.0: WORD;(\*Регистр для ЦАП-1\*)

PV1: REAL;(\*Входное значение\*)

PV\_TIME1:WORD; (\* Время получения входной величины - отсчитывается в долях секунды и берется из UNIVERSAL Sensor/ Circular time\*)

SP1:REAL;(\*уставка\*)

PB1: REAL;(\*полоса пропорциональности\*)

TI\_1: DINT;(\*постоянная интегрирования - 4 байтовое целое знаковое\*)

TD\_1 : REAL;(\*постоянная дифференцирования\*)

\_IMIN1: REAL;(\*минимум интегральной составляющей\*)

\_IMAX1: REAL;(\*максимум интегральной составляющей\*)

OUT\_VAL1: REAL;(\*Выходное значение\*)

END\_VAR

Головна функція:

PROGRAM PLC\_PRG

VAR

OUT: REAL;(\*Выходное значение\*)

OUT\_MIN: REAL;

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		70

OUT\_MIN1: REAL;

PID: PID\_FUNCTION;

SP2:REAL;(\*уставка с потенциометра\*)

PB2: REAL;(\*полоса пропорциональности с потенциометра\*)

TI\_2: DINT;(\*постоянная интегрирования с потенциометра\*)

TD\_2 : REAL;(\*постоянная дифференцирования с потенциометра\*)

END\_VAR

Вихідний код:

IF PORT1 = 1 THEN PV1 := WORD\_TO\_REAL(ADC1); PID (PV := PV1, PV\_TIME := PV\_TIME1, SP := SP1, PB := PB1, TI\_ := TI\_1, TD\_ := TD\_1, \_IMIN := \_IMIN1, \_IMAX := \_IMAX1, OUT\_VAL => OUT ); OUT\_MIN := MAX (0, OUT);

ELSIF PORT1 = 0 THEN PV1 := WORD\_TO\_REAL(ADC1); SP2 := WORD\_TO\_REAL (ADC2); PB2 := WORD\_TO\_REAL (ADC3); TI\_2 := ADC4; TD\_2 := WORD\_TO\_REAL (ADC5); PID (PV := PV1, PV\_TIME := PV\_TIME1, SP := SP2, PB := PB2, TI\_ := TI\_2, TD\_ := TD\_2, \_IMIN := \_IMIN1, \_IMAX := \_IMAX1, OUT\_VAL => OUT ); OUT\_MIN := MAX (0, OUT); SP1 := SP2; PB1 := PB2; TI\_1 := TI\_2; TD\_1 := TD\_2;

END\_IF

(\*OUT\_MIN1 := MUL (655.35, OUT\_MIN);\*)

(\*ПИД выдает значения от 0 до 1000, преобразуем их в тип WORD\*)

(\*Модуль ЦАП МУ110 принимает значения без преобразования\*)

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		71

IF PORT0 = 1 THEN DAC1 := REAL\_TO\_WORD (OUT\_MIN);(\*При  
отсутствии 30кВ на входе, значения с ПИД не записываются, таким образом  
натекаль сохраняет предыдущее значение с оперативной памяти\*)

END\_IF

IF PORT2 AND PORT3 AND PORT4 AND PORT5 = 1 THEN DISCETE\_OUT  
:= 1;(\*Включение реле 30кВ\*)

ELSE DISCETE\_OUT := 0;(\*Отключение реле 30кВ\*)

END\_IF

					<i>ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ</i>	Анк
<i>Змн</i>	<i>Анк</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		72

**DESCRIPTION**

Low Voltage Temperature Sensors TMP35/TMP36/TMP37

**FEATURES** Low Voltage Operation (2.7 V to 5.5 V) Calibrated Directly in C 10 mV/C Scale Factor (20 mV/C on TMP37) 2C Accuracy over Temperature (Typ) 0.5C Linearity (Typ) Stable with Large Capacitive Loads Specified -40C to +125C, Operation to +150C Less than 50 A Quiescent Current Shutdown Current 0.5 A Max Low Self-Heating **APPLICATIONS** Environmental Control Systems Thermal Protection Industrial Process Control Fire Alarms Power System Monitors CPU Thermal Managemen

**PRODUCT DESCRIPTION**

The TMP35, TMP36, and TMP37 are low voltage, precision centigrade temperature sensors. They provide a voltage output that is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The TMP35/TMP36/TMP37 do not require any external calibration to provide typical accuracies of  $\pm 1^\circ\text{C}$  at  $+25^\circ\text{C}$  and  $\pm 2^\circ\text{C}$  over the  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$  temperature range. The low output impedance of the TMP35/TMP36/TMP37 and its linear output and precise calibration simplify interfacing to temperature control circuitry and A/D converters. All three devices are intended for single-supply operation from 2.7 V to 5.5 V maximum. Supply current runs well below 50  $\mu\text{A}$ , providing very low self-heating—less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. In addition, a shutdown function is provided to cut supply current to less than 0.5  $\mu\text{A}$ . The TMP35 is functionally compatible with the LM35/LM45 and provides a 250 mV output at  $25^\circ\text{C}$ . The TMP35 reads temperatures from  $10^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$ . The TMP36 is specified from  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$ , provides a 750 mV output at  $25^\circ\text{C}$ , and operates to  $+125^\circ\text{C}$  from a single 2.7 V supply. The TMP36 is functionally compatible with the LM50. Both the TMP35 and TMP36 have an output scale factor of 10 mV/ $^\circ\text{C}$ . The TMP37 is intended for applications over the range  $5^\circ\text{C}$  to  $100^\circ\text{C}$  and provides an output scale factor of 20 mV/ $^\circ\text{C}$ . The TMP37 provides a 500 mV output at  $25^\circ\text{C}$ . Operation extends to  $150^\circ\text{C}$  with reduced accuracy for all devices when operating from a 5 V supply. The TMP35/TMP36/TMP37 are all available in low cost 3-lead TO-92, SOIC-8, and 5-lead SOT-23 surface-mount packages.

					ДЕ-зп71 420.301.003 ПЗ	Анк
Змн	Анк	№ докум.	Підпис	Дата		73